

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO, ESTABILIDADE FÍSICA,
QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E COMPOSTOS BIOATIVOS
DO SUCO MISTO DE FRUTAS TROPICAIS HOMOGENEIZADO
A ALTA PRESSÃO**

RAÍSSA DE ASSIS CARVALHO

2022



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

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO, ESTABILIDADE FÍSICA,
QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E COMPOSTOS BIOATIVOS
DO SUCO MISTO DE FRUTAS TROPICAIS HOMOGENEIZADO
A ALTA PRESSÃO**

RAÍSSA DE ASSIS CARVALHO

Sob orientação do Professor
Amauri Rosenthal

E Coorientação do Professor
Davy William Hidalgo Chávez

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,
Novembro de 2022

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

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

C331c

Carvalho, Raissa de Assis, 1990-
COMPORTAMENTO REOLÓGICO, ESTABILIDADE FÍSICA,
QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E COMPOSTOS BIOATIVOS DO
SUCO MISTO DE FRUTAS TROPICAIS HOMOGENEIZADO A ALTA
PRESSÃO / Raissa de Assis Carvalho. - Belo Horizonte
, 2022.
82 f.: il.

Orientador: Amauri Rosenthal .
Coorientador: Davy William Hidalgo Chávez.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2022.

1. Suco misto tropical.. 2. Homogeneização a alta
pressão.. 3. Reologia.. 4. Estabilidade física.. 5.
Cor.. I. Rosenthal , Amauri , 1960-, orient. II.
Chávez, Davy William Hidalgo, 1976-, 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.



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



TERMO Nº 280/2023 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.017683/2023-61

Seropédica-RJ, 23 de março de 2023.

RAÍSSA DE ASSIS CARVALHO

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 12/12/2022

AMAURI ROSENTHAL, (Dr) EMBRAPA (orientador)
LOURDES MARIA PESSOA MASSON, (Dra) IFRJ
ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA, (Dra) UFRRJ

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 24/03/2023 11:25)

ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA

DTA (12.28.01.00.00.00.46)

Matrícula: ###069#6

(Assinado digitalmente em 24/03/2023 12:10)

LOURDES MARIA PESSOA MASSON

CPF: ###.###.407-##

(Assinado digitalmente em 23/03/2023 14:20)

AMAURI ROSENTHAL

CPF: ###.###.978-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **280**, ano: **2023**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **23/03/2023** e o código de verificação: **e0fe95a923**

Dedico minha dissertação aos meus pais Arleine e Ewerton por sempre me darem amor incondicional, apoio, acreditarem em mim e por terem me ensinado a fé.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre está comigo me permitindo chegar até aqui. Muito obrigada meu Deus por me fortalecer, guiar e sustentar com as suas mãos e me mostrar o caminho certo. Sem o senhor este desafio não seria possível. Obrigada meu pai!

À minha família, que sempre está comigo, me orientando, dando forças e me guiando em todas as jornadas da minha vida. Minha mãe Arleine e meu pai Ewerton, por nunca medirem esforços para as realizações dos meus sonhos e para minha felicidade. Muito obrigada pelo amor, pelas orações, e pelo carinho que sempre tiveram comigo. Meu eterno amor e minha eterna gratidão. Ao meu irmão, Bernardo, que sempre me apoiou, incentivou, ajudou, e sempre acreditou em mim com tanto amor. À minha tia Luce, que sempre esteve ao meu lado com tanto amor e carinho, orando e torcendo para a minha felicidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

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

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

Aos meus orientadores, Amauri e Davy, por toda paciência, dedicação, compreensão, carinho e por toda confiança que tiveram comigo. Mesmo com a pandemia, foram anos de muito aprendizado com vocês. Exemplos de profissionais. Muito obrigada por todo o conhecimento. Minha eterna gratidão e carinho por vocês.

Aos companheiros de trabalho Mario Josue e Mariah Almeida, que foram muito parceiros desde o início do mestrado. Obrigada pelo apoio, pela amizade, pela parceria, pela ajuda, pela troca de conhecimentos e por participarem de todos os momentos comigo. Foi muito prazeroso tê-los ao meu lado.

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

À Professora Dr^a. Verônica Calado e ao D.Sc. Gustavo Azevedo por toda a ajuda e disponibilidade na execução e interpretação dos resultados das análises reológicas.

À todas as pessoas que colaboraram e apoiaram na execução desse trabalho, dessa jornada.

RESUMO

CARVALHO, Raíssa de Assis. **Comportamento reológico, estabilidade física, qualidade microbiológica e compostos bioativos do suco misto de frutas tropicais homogeneizado a alta pressão.** 2022. 82 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, 2022.

Nos tempos atuais, os cuidados com a saúde e a preocupação com a qualidade de vida estão cada vez mais presentes na sociedade, influenciando diretamente os hábitos de alimentação e escolha de produtos pelos consumidores. Como consequência, produtos à base de frutas e vegetais têm tido um aumento progressivo de demanda, sobretudo pela presença de compostos bioativos benéficos à saúde. A Acerola, o Caju e o Melão destacam-se pela riqueza em vitamina C e outros nutrientes, compostos funcionais e também por serem sensorialmente atrativos. Este estudo tem como objetivo a caracterização do efeito do processamento de suco misto tropical à base de acerola (30% m/m), caju (60% m/m) e melão (10% m/m) pelo tratamento não térmico de homogeneização a alta pressão. O estudo comparou o suco homogeneizado a alta pressão a 50 MPa e 100 MPa com os seguintes sucos: suco controle (*in natura*), pasteurizado (90°C/1 min) e processado por alta pressão hidrostática (400 MPa/5 min e 500 MPa/5 min), em relação às análises microbiológicas (Bactérias aeróbias mesófilas, fungos filamentosos e leveduras e *Salmonella spp.*), físico-químicas (pH, acidez, sólidos solúveis totais), teor de compostos bioativos presentes, vitamina C, estabilidade física (distribuição do tamanho de partículas, microscopia óptica, sedimentação da polpa e cor instrumental) e o estudo do comportamento reológico. Analisaram-se estatisticamente os dados obtidos através da Análise de Variância (ANOVA), testes de médias de Tukey e o teste de Dunnett para comparações múltiplas, utilizando o software estatístico R. Desta forma, verificou-se que as amostras submetidas a homogeneização a alta pressão, em relação a qualidade microbiológica, não teve resultados satisfatórios, devido à possível contaminação no momento do envase, pela ausência de um sistema de envase asséptico. Observou-se a presença de fungos filamentosos, leveduras (UFC/mL) e bactérias aeróbias mesófilas em amostras homogeneizadas. Pelas análises físico-químicas, as amostras homogeneizadas apresentaram pequenas alterações em relação ao controle não processado. A Homogeneização a Alta Pressão promoveu efeitos insatisfatórios sobre os compostos bioativos, principalmente na vitamina C, que apresentou uma diminuição significativa em sua concentração. Contudo, o suco misto processado por HAP apresentou uma maior estabilidade física, apresentando resultados satisfatórios na redução do tamanho da partícula e retardamento da sedimentação da polpa, conforme retratado pelas imagens de microestrutura óptica, assim como na preservação da cor, com base na amostra controle (sem tratamento) do suco. Em relação ao comportamento reológico, observou-se que as amostras do suco se adequaram ao modelo Herschel-Bulkley, compatível aos fluidos que possuem comportamento de Power-Law e Bingham, apresentando redução da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento.

Palavras-chave: Suco misto tropical. Homogeneização a alta pressão. Reologia. Estabilidade física. Cor.

ABSTRACT

CARVALHO, Raíssa de Assis. **Rheological behavior, physical stability, microbiological quality and bioactive compounds of mixed tropical fruit juice homogenized at high pressure.** 2022. 82 p. Dissertation (Master in Food Science and Technology). Institute of Technology, Department of Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

Nowadays, health care and concern for quality of life are increasingly present in society, directly influencing consumers' eating habits and choice of products. Therefore, fruit and vegetable-based products have seen a progressive increase in demand, mainly due to the presence of bioactive compounds beneficial to health. Acerola, Cashew and Melon stand out for their richness in vitamin C and other nutrients, functional compounds and for being sensorially attractive. The objective of this study was to characterize the effect of processing mixed tropical juice based on acerola (30% m/m), cashew (60% m/m) and melon (10% m/m) by non-thermal high-pressure homogenization (HAP). The study compared the juice homogenized at high pressure at 50 MPa and 100 MPa with the following juices: control juice (fresh, in natura) pasteurized (90°C/1 min) and processed by high hydrostatic pressure (400 MPa/5 min and 500 MPa/5 min). The following analyses were carried out: microbiological analyzes (Aerobic mesophilic bacteria, filamentous fungi and yeasts and *Salmonella* spp.), physicochemical (pH, acidity, total soluble solids), bioactive compounds content, vitamin C, physical stability (particle size distribution, optical microscopy, pulp sedimentation and instrumental color) and the study of rheological behavior. The data obtained through Analysis of Variance (ANOVA), Tukey's mean tests and Dunnett's test for multiple comparisons were statistically analyzed using the R statistical software. Regarding the microbiological quality, the homogenization process was not effective due to possible contamination at the time of filling, possibly due to the lack of an aseptic filling system. The presence of filamentous fungi, yeasts (CFU/mL) and mesophilic aerobic bacteria was observed in homogenized samples. On the physical-chemical analyses, the homogenized samples presented small alterations regarding the control. High Pressure Homogenization promoted unsatisfactory effects on bioactive compounds, mainly on vitamin C, which showed a significant decrease in its concentration. However, the mixed juice processed by HAP showed greater physical stability, obtaining satisfactory results in relation to particle size reduction and pulp sedimentation stability, which could be explained by the microstructure optic images, in addition to the color preservation in relation to the control sample (without treatment). Regarding the rheological behavior, it was observed that the juice samples suited the Herschel-Bulkley model, related with Power-Law and Bingham behavior. From the results, he observed that the samples showed a reduction in apparent viscosity with the shear rate increase.

Keywords: Tropical mixed Juice. High pressure homogenization. Rheology. Physical stability. Color.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 01 - Despolpadeira marca: Itametal.....	26
Figura 02 - Polpas embaladas e seladas a vácuo.....	27
Figura 03 - Suco misto de frutas submetido a alta pressão hidrostática.....	27
Figura 04 - Homogeneizador à alta pressão.....	29
Figura 05 - Equipamento de alta pressão hidrostática - Stansted Fluid Power.....	30
Figura 06 – Diagrama de blocos do processamento do suco misto de frutas tropicais por diferentes processos de conservação.....	31
Figura 07 - Thermomix™ (Vorwerk, Brasil).....	32
Figura 08 - Titulador automático, modelo 785 DMP Titrino, Metrohm, Suíça.....	33
Figura 09 - Refratômetro digital portátil (Atago®, modelo Pal-3 Co, Ltda., EUA).....	33
Figura 10 - Reômetro ARES G2.....	37
Figura 11 - Geometria Concentric Cylinders.....	37
Figura 12 – a) Variação da tensão de cisalhamento (Pa) em relação a variação da taxa de cisalhamento (s^{-1}) do suco misto de frutas tropicais (0,01 a 100 1/s).....	53
b) Clusterização.....	53
c) Viscosidade aparente em relação a variação da taxa de cisalhamento do suco misto de frutas tropicais.....	53
Figura 13 - Parâmetros do modelo Herschel-Bulkley do suco misto de frutas tropicais.....	55
Figura 14 – a) Distribuição do diâmetro de partícula do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes tratamentos.....	57
b) Diâmetro médio da partícula ($D[4,3]$ e $D[3,2]$) e desvio padrão de cada valor na parte superior das barras verticais do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes tratamentos....	57
Figura 15 – a) Sedimentação da polpa do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes processamentos.....	58
b) Clusterização.....	58
Figura 16 - Parâmetros de cor (a^* , b^* , L^* e h°) do suco misto de frutas tropicais.....	61
Figura 17 - Imagens da microestrutura óptica do suco mistos de frutas tropicais resultantes dos diversos processamentos.....	64

LISTAS DE TABELAS

Tabela 01 - Codificação de amostras do suco misto de frutas tropicais em relação aos tratamentos de conservação realizados no estudo.....	28
Tabela 02 - Análises microbiológicas do suco misto de frutas tropicais, submetido em todos os processamentos.....	39
Tabela 03 - Caracterização físico-química: pH, acidez titulável e teor de sólidos solúveis totais (°Brix) do suco misto de frutas tropicais, submetido em todos os processamentos.....	43
Tabela 04 - Teor de Vitamina C, compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante do suco misto de frutas tropicais, submetido em todos os processamentos.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1	Suco de Frutas Tropicais.....	3
2.2	Frutas Tropicais.....	4
2.2.1	Caju.....	4
2.2.2	Acerola.....	6
2.2.3	Melão.....	7
2.3	O Suco misto tropical produzido com a polpa de Caju, Acerola e Melão originária da fruta <i>in natura</i>	8
2.4	Tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (APH).....	10
2.5	Homogeneização a Alta Pressão (HAP).....	13
2.6	Reologia.....	16
2.7	Estabilidade Física.....	19
2.8	Microbiologia.....	21
2.9	Características físico-químicas.....	22
2.9.1	pH.....	22
2.9.2	Acidez.....	23
2.9.3	Teor de Sólidos Solúveis (°Brix).....	23
2.10	Compostos Bioativos.....	23
2.10.1	Vitamina C.....	23
2.10.2	Compostos Fenólicos.....	23
2.10.3	Capacidade Antioxidante.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Matéria-Prima	24
3.2	Formulação e Processamento do Suco Misto de Frutas Tropicais	25
3.3	Desenho Experimental	27
3.4	Homogeneização a Alta Pressão	28
3.5	Processamento por Alta Pressão Hidrostática.....	29
3.6	Comparação dos Processamentos	30
3.7	Caracterização Microbiológica	32
3.7.1	Procedimento CIP (<i>clean-in-place</i>) e envase asséptico para a análise microbiológica....	32
3.7.2	Análises Microbiológicas	32
3.8	Análises Físico-Químicas	33

3.9	Determinações dos Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante.....	34
3.9.1	Vitamina C	34
3.9.2	Compostos Fenólicos Totais	34
3.9.3	Capacidade Antioxidante.....	34
3.10	Estabilidade Física no processamento do suco misto de frutas tropicais	34
3.10.1	Distribuição de Tamanho de Partícula.....	35
3.10.2	Microestrutura Óptica.....	35
3.10.3	Sedimentação da Polpa.....	35
3.10.4	Análise Instrumental de Cor	36
3.11	Comportamento Reológico.....	36
3.12	Análises Estatísticas.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	Análises Microbiológicas	38
4.2	Características Físico-Químicas	43
4.2.1	pH.....	43
4.2.2	Acidez Titulável.....	45
4.2.3	Teor de Sólidos Solúveis (Brix°).....	46
4.3	Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante.....	47
4.3.1	Vitamina C	48
4.3.2	Compostos Fenólicos Totais	51
4.3.3	Capacidade Antioxidante	52
4.4	Análise Reológica.....	53
4.5	Estabilidade Física do Suco Misto de Frutas Tropicais.....	56
4.5.1	Distribuição de Tamanho de Partículas.....	56
4.5.2	Sedimentação de Partículas	58
4.5.3	Cor Instrumental	60
4.5.4	Microestrutura Óptica.....	63
5	CONCLUSÃO.....	65
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
7	INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES.....	82
7.1	Anexos.....	82

1. Introdução

Nos tempos atuais, grande parte da população vem modificando seus hábitos alimentares devido à preocupação com a saúde e qualidade de vida. A busca por uma alimentação mais saudável e de alimentos benéficos à saúde têm sido cada vez mais frequentes pela sociedade. As preocupações com a manutenção da saúde, em conjunto com o avanço dos estudos da ciência da nutrição e avanços na tecnologia de alimentos, convergem para que a população busque alimentos mais saudáveis, almejando uma maior longevidade e qualidade de vida (CAMARGOS & GONZAGA, 2015; MARTINS et al., 2020).

As pesquisas de sucos de frutas vêm sendo efetivadas por pesquisadores e por algumas empresas, com o intuito do desenvolvimento e melhora das características nutricionais, funcionais e sensoriais dos produtos. Frutas e vegetais apresentam várias propriedades benéficas à saúde, como a alta composição de compostos bioativos e grande capacidade antioxidante, tornando-as matérias-primas de grande importância para o segmento de produtos com características funcionais (RUFINO et al., 2010).

O Brasil é um país que possui uma das fruticulturas mundialmente mais diversificadas. Sua área de cultivo de frutas supera 2 milhões de hectares, gerando, desta forma, expressivos resultados de empregos e renda, tanto no campo quanto na agroindústria, e ao longo da cadeia de produção, distribuição e consumo.

De acordo com BRASIL (2013), o suco tropical misto é um produto obtido pela dissolução, em água potável, da polpa da fruta polposa de duas ou mais frutas de origem tropical, por meio de processo tecnológico adequado, não fermentado, de cor, aroma e sabor característicos da fruta, submetido a tratamento que assegure sua conservação e apresentação, até o momento do consumo. As frutas tropicais utilizadas neste estudo são altamente funcionais e nutricionais.

O suco misto de frutas tropicais estudado foi composto pelo caju (*Anacardium Occidentale L.*), um fruto nativo do Nordeste que possui alto teor de vitamina C, carotenóides (E-caroteno, D-caroteno e E-criptoxantina), compostos fenólicos (flavonóides, fenóis e taninos), é fonte de minerais (Ca, P, Fe, Mg), aminoácidos (alamina, fenilalanina, serina, leucina) e compostos voláteis (DE BRITO et al., 2007; QUEIROZ et al., 2011; TALASILA e SHAIK, 2015; DAS e ARORA, 2017). A outra fruta que compôs o suco misto nesta pesquisa foi a acerola (*Malpighia emarginata L.*), que apresenta grande teor de vitamina C, que é o principal promotor do potencial antioxidante da fruta, além de ser altamente nutritiva (OLIVEIRA et al., 2011; MOURA et al., 2018). E por último o melão (*Cucumis melo L.*), que é também altamente nutritivo, fonte em vitamina C, β -caroteno, antioxidantes e sais minerais, além de ser muito atrativo sensorialmente.

A maioria dos sucos e néctares industrializados disponíveis no mercado consumidor são produzidos através de processamentos térmicos, como a pasteurização, que, apesar de garantir a segurança microbiológica e um período prolongado de vida útil do produto, pode alterar as características sensoriais dos sucos, como cor, sabor, textura, entre outros, além de ocasionar uma perda da bioatividade e valor nutricional das bebidas. Isto ocorre devido à destruição de compostos funcionais e nutrientes presentes no alimento, quando submetidos a altas temperaturas (TADAPANENI et al., 2014).

A alta pressão hidrostática (APH) consiste na aplicação de pressões elevadas em que o processo submete o alimento, usualmente previamente embalado em embalagem flexível, a pressões de 100 a 1000 MPa, sendo a água 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 e bem-sucedido comercialmente, utilizado na conservação e manutenção da qualidade sensorial de alimentos (LABOISSIÈRE et al., 2007; WANG et al., 2016).

A homogeneização a alta pressão (HAP), igualmente, consiste em um processo de conservação primordialmente não térmico (processo a frio), que pode substituir total ou parcialmente os tratamentos térmicos, e compreende a passagem de produto pelo homogeneizador, para posteriormente ser envasado. Neste processo, um produto líquido ou pastoso ou uma dispersão de partículas é impulsionada com alta pressão (100-2000 bar) através de uma cavidade estreita (poucos micrômetros), e acelerada em uma curta distância, com alta velocidade (cerca de 100 km/h) ao encontro de uma válvula, que atua como barreira. A colisão com a válvula promove a constrição de fluxo com formação de partículas com reduzido diâmetro, podendo abranger nanopartículas (MEHNERT e MADER, 2001). Este processo pode potencialmente promover a segurança microbiana, a preservação da qualidade funcional e nutricional do produto, minimizando perdas de vitaminas e compostos voláteis.

Na HAP, também ocorre a redução do tamanho das partículas físicas dispersas do suco, favorecendo a sua estabilidade física e tornando o produto mais atrativo sensorialmente (GUAN et al., 2016; YUE et al., 2016; CODINA-TORELLA et al., 2017). Para os sucos de frutas, a aplicação da HAP pode ser considerada como uma forma de tratamento muito viável, devido à redução da carga microbiana presente e preservar os atributos de qualidade dos produtos frescos.

A obtenção de produtos que apresentem melhores características sensoriais e nutricionais faz com que a HAP seja uma tecnologia promissora para o desenvolvimento de novos produtos, favorecendo a manutenção da qualidade nutricional, sensorial, estabilidade física e vida útil dos

alimentos, com aplicação reduzida de calor (POLISELI-SCOPEL et al., 2012; FERRAGUT et al., 2015; AGANOVIC et al., 2018). O processo de HAP pode ser uma forma viável de produção do suco misto, para se alcançar um melhor produto.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da Homogeneização a Alta Pressão (HAP) na qualidade e a estabilidade microbiológica do suco misto de frutas tropicais à base de caju, acerola e melão, em comparação com os cusos processados por Alta Pressão Hidrostática (APH) e por pasteurização térmica e com o suco sem tratamento (*in natura*). Para efeitos de comparação e avaliação dos processos, foram realizadas análises microbiológicas, físico-químicas, reológicas, de quantificação de compostos bioativos, de estabilidade física e de cor instrumental da bebida, de forma a avaliar os impactos dos processos sobre as variáveis diretamente relacionadas às características de qualidade e estabilidade microbiológica do suco.

2. Referencial Teórico

2.1 Suco de Frutas Tropicais

De acordo com Padrão de Identidade e Qualidade, Instrução Normativa Nº 12, de 04 de setembro de 2003, publicada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Suco Tropical é definido como sendo o produto da dissolução da polpa da fruta de origem tropical em água potável, por meio de processo tecnológico adequado, submetido a tratamento que assegure sua conservação e apresentação da cor, aroma e sabor característicos da fruta, até o momento do consumo. Como requisitos, estipulou-se que as características físicas, químicas e organolépticas devem ser as provenientes da fruta de sua origem, observando-se os limites mínimos e máximos dos parâmetros fixados para o respectivo Suco Tropical.

Motivados pelas mudanças no padrão alimentar devido às altas nos índices de obesidade e outros problemas relacionados à saúde, e também ao desenvolvimento de maior consciência pela população relacionada a uma alimentação mais saudável, melhor qualidade de vida, diminuição do risco de mortalidade e redução de ocorrência de doenças crônicas, se observa um crescente despertar no consumo de produtos mais próximos aos naturais, com impacto em diferentes setores da agropecuária, entre eles o consumo de frutas e derivados (BRASIL, 2008).

De acordo com dados fornecidos pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação da FAO (2020), 99% da produção de frutas tropicais se origina em países em desenvolvimento, cultivadas principalmente por pequenos agricultores, gerando renda e contribuindo

para segurança alimentar, bem como, para ganhos significativos dos países produtores, decorrente da exportação.

Nesse cenário de expansão da fruticultura, o Brasil se destaca por possuir grande extensão territorial, boas condições climáticas e de solo e riqueza em recursos naturais que permitem que tenha um grande potencial produtivo agrícola, com grande diversidade de frutas o ano inteiro, adaptadas aos mais diversos biomas (FONSECA, 2022).

Segundo estudos de Martins (2020), o interesse pelas frutas tropicais se deve particularmente pela riqueza de compostos antioxidantes e bioativos que apresentam e aos benefícios associados ao consumo dessas frutas por constituírem ricas fontes naturais de vitaminas e minerais, de fibras e outros compostos essenciais à uma dieta equilibrada, associados à redução do risco de doenças crônicas, menor incidência de doenças degenerativas, dentre outros benefícios. Tais características vêm incentivando pesquisadores de alimentos a investigar os efeitos *in vitro* e *in vivo* dessas frutas, ocasionando um aumento na demanda em todo o mundo, principalmente nos países desenvolvidos.

Além disso, ao mesmo tempo que os consumidores procuram por produtos com qualidade, visam também a praticidade e o menor tempo de preparo, levando a um crescimento no consumo de sucos, néctares e polpas de frutas tropicais industrializados (BRASIL, 2014).

Os sucos de frutas, assim como outros produtos derivados de frutas (néctar, polpa concentrada, sorvete), conforme explicam Bezerra et al. (2013), são sistemas bifásicos, compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso. Durante seu processamento, estes sistemas alimentares são expostos a vários tipos de tensão e procedimentos, além de serem expostos a condições de processamento como centrifugação, pasteurização, concentração, peneiramento, entre outras operações e processos.

Assim sendo, as condições de processamento incidem na microestrutura e nas propriedades reológicas de sistemas alimentares líquidos. Além disso, o conhecimento das características reológicas desempenha papel fundamental no controle do processo, na qualidade do produto final e no desenvolvimento de novos produtos. Dessa maneira, processos com a tecnologia de alta pressão vêm sendo empregados a fim de promover mudanças físicas e garantir estabilidade microbiológica e conservação dos sucos de frutas, prolongando a vida útil desses produtos e mantendo suas características sensoriais e nutritivas (BEZERRA et al., 2013).

2.2 Frutas Tropicais

2.2.1 Caju

Típico de clima tropical e originário do Brasil, especificamente do litoral nordestino, o cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) pertence à família *Anacardiaceae* e consiste em uma árvore xerófila e rústica, de porte médio, que se adapta melhor a solos pobres e arenosos. A propagação da cultura do caju para diversos países da África e para a Índia ocorreu por meio dos portugueses (PARENTE *et al.*, 1991).

A caju cultura integra o rol de importância econômica, social e cultural brasileira. Culturalmente, a comunidade nativa do Nordeste foi responsável pela interiorização do cajueiro e, outrora, realizava inclusive a contagem da passagem dos anos pela floração do cajueiro. Economicamente, sua produção ocorre nas épocas de seca, correspondente ao período da entressafra de outros cultivares na região Nordeste. Assim, a caju cultura gera subsídio econômico, além de complemento nutricional, pois as castanhas podem ser armazenadas nos períodos de estiagem, devido à sua baixa umidade. Socialmente, a caju cultura gera milhares de empregos diretos, tanto no campo quanto na indústria, além de empregos indiretos nos dois segmentos (SOUSA *et al.*, 2021).

O caju é constituído por um pedúnculo floral, representa apenas 10% do peso total do produto colhido e pela castanha, o verdadeiro fruto do caju. A grande quantidade da parte polposa (pedúnculo), chamada de maçã do caju, possui baixo aproveitamento comercial em relação à castanha. O alto desperdício do pseudofruto pode ser justificado por ser não-climatérico, com a necessidade de colhê-lo maduro, fato que requer logística mais ajustada entre a colheita e o processamento. Além disso, a colheita geralmente é manual, pois não há disponibilidade comercial de equipamento para a operação e a prática de colheita do caju ao chão afeta negativamente a qualidade da castanha obtida (MARTINS, 2020).

Inicialmente, o cajueiro não foi utilizado para o consumo humano; era empregado como agente ante erosivo na preservação do solo. Posteriormente, passou a ser cultivado para consumo e comercializado devido à sua castanha, que apresenta interesse nutricional e econômico (SOUSA *et al.*, 2021).

Segundo Costa, Lima e Lima (2003), o Brasil é pioneiro e líder no aproveitamento de pedúnculo do caju, sendo o único país do mundo que possui experiência, tecnologia e hábito de seu consumo em suas diferentes formas, sendo fonte de renda devido a elaboração de sucos, doces, refrigerantes, vinhos, polpas e outros produtos alimentícios e no consumo in natura, constituindo oportunidade para o agronegócio de sua comercialização e seus subprodutos a nível mundial (MARTINS, 2020).

Em condições ambientais, o caju é muito susceptível ao ataque de microrganismos acidófilos. A conservação pós-colheita do pedúnculo, em temperatura ambiente, não pode ultrapassar 48 horas.

Os cuidados na colheita e pós-colheita do caju são essenciais para a obtenção de produtos e derivados de boa qualidade (LIMA; GARCIA; LIMA, 2004).

O suco de caju apresenta alto teor de polpa como a bebida não fermentada e não diluída, obtida da parte comestível do pedúnculo do caju, através de processo tecnológico adequado. O processamento industrial deve ser de tal maneira que as modificações e perdas nos componentes dos frutos relacionados às propriedades sensoriais sejam as menores possíveis, relativos à textura, sabor, aroma e, também, valor nutritivo (SANCHO *et al.*, 2007). Isto porque o caju é fonte de minerais (Ca, P, Fe, Mg entre outros), aminoácidos, carotenoides, compostos fenólicos, compostos voláteis e ácido anacárdico, o que o torna um excelente produto, oferecendo muitos benefícios para a saúde do consumidor (MARTINS, 2020).

Sancho *et al.* (2007) alertam que, de acordo com as operações que o suco for submetido, pode-se sofrer significativa redução nos percentuais de vitaminas e outros nutrientes presentes no caju. Por isso, o uso de técnicas e manuseios corretos são importantes para redução das influências negativas sobre a qualidade e redução de perdas (SANCHO *et al.*, 2007).

2.2.2 Acerola

A aceroleira (*Malpighia emarginata D. C.*) é uma planta frutífera originária da América Tropical que produz acerola ou cereja, provavelmente nativa das Antilhas e ilhas do Caribe, e que vem apresentando boa adaptação em diversos países devido às condições edafoclimáticas favoráveis ao seu cultivo, incluindo Brasil, Porto Rico, Cuba e Estados Unidos (SOUZA, *et al.*, 2017).

De acordo com a descrição de Araújo e Minami (1994), a aceroleira é uma planta arbustiva, com copa aberta ou compacta, que pode chegar entre 2,5 e 3,0 m de altura, quando adulta. Os frutos são drupas tricarpeladas, com casca fina, polpa carnosa e succulenta.

Com alto teor de vitamina C, sendo também rica em outros nutrientes benéficos à saúde, são encontrados na acerola as vitaminas tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3) e provitamina A e minerais (Ca, Fe, K, Mg e P) (MOURA *et al.*, 2018). É um alimento de baixo valor calórico e com grande capacidade de aproveitamento industrial, características que têm valorizado o produto no mercado e provocado aumento de consumo. Dessa maneira, a aceroleira tem atraído o interesse de fruticultores e passou a ter importância econômica em várias regiões do Brasil. É uma cultura atraente sob o ponto de vista da crescente demanda do produto nos mercados interno e externo, possibilidade de várias safras ao longo do ano e sem problemas limitantes de pragas e doenças (MAIA *et al.*, 2007).

Para aumentar a vida útil da acerola, é interessante manejar os fatores que possam diminuir as taxas respiratórias e de síntese do etileno, especialmente a redução da temperatura ambiente, além

de evitar lesões nos frutos, pois estes resultam em aumento da produção de etileno e passagens de microrganismos (RITZINGER; RITZINGER, 2011).

A polpa pasteurizada congelada e o suco pasteurizado são os principais produtos derivados da fruta explorados comercialmente (YAMASHITA *et al.*, 2003). Em menor escala, a fruta e polpa de acerola são também utilizadas na fabricação de produtos como néctares, geleias, conservas, licores, ou adicionadas a sucos de outras frutas para enriquecimento com vitamina C.

O Brasil é um dos poucos países que cultivam comercialmente a acerola, que atualmente é cultivada em todos os estados brasileiros, com limitações na Região Sul por suas temperaturas extremamente baixas no inverno (CODEVASF, 2003).

Porém, a capacidade de promover a qualidade das frutas processadas depende estritamente de seu histórico durante o processamento. O processamento afeta o conteúdo, a atividade e a biodisponibilidade dos componentes bioativos. As perdas no conteúdo de ácido ascórbico variam de acordo com o processo e equipamentos utilizados. Assim, temperatura, pH e oxigênio, entre outros fatores, devem ser observados, pois afetam a estabilidade das substâncias presentes na acerola (MAIA *et al.*, 2007).

2.2.3 Melão

O melão (*Cucumis melo L.*) é uma fruta da família *Cucurbitaceae*, originária da África e Ásia tropical, e se trata de uma das oleráceas mais populares do mundo, sendo hoje cultivado em países com clima temperado e semiárido ou árido, como na Europa, Ásia, África no Brasil (MARTINS, 2020). Exibe enorme variação no tamanho, forma, cor, sabor, textura e composição bioquímica (CAVALCANTI, 2018).

O melão representa uma das mais importantes famílias de plantas utilizadas para produção de alimentos (BISOGNIN, 2002) pelas suas características sensoriais e por ser fonte de fibras, betacaroteno (Provitamina A), vitaminas C e do complexo B, rico em elementos minerais, como potássio, sódio e fósforo, e possuindo baixo valor energético. O fruto maduro pode ser consumido *in natura*, como ingrediente de saladas de frutas ou de hortaliças, e na forma de suco. Possui propriedades medicinais e atua como calmante, refrescante, alcalinizante, mineralizante, oxidante, diurético, laxante e emoliente (ALVES, 2000).

O suco de melão apresenta-se atualmente como um alternativo potencial para o suprimento do suco base direcionado à formulação de bebidas de frutas, suprimindo um mercado em plena expansão. O uso de sucos clarificados, empregado como uma base neutra para a formulação de blends com frutas exóticas, vem ganhando força no mercado internacional de bebidas prontas para o

consumo. Este mercado exige características que o suco de melão naturalmente não apresenta, tais como limpidez, aroma não acentuado da fruta e estabilidade pós-processamento. Para atender a essas características de produto, tem sido considerado um processo que associe as operações unitárias de extração da polpa, clarificação por meio do pré-tratamento enzimático acoplado à microfiltração tangencial da polpa do melão, para a obtenção do suco base de melão natural e rico em açúcares, vitaminas e minerais (NETO *et al.*, 2016).

Assim sendo, para melhorias nas condições de cultivo e maior abertura de comércio, pesquisas são desenvolvidas no sentido de agregar valor aos produtos agroindustriais primários e promover um controle de qualidade eficaz durante o processamento. Desse modo, o suco de melão, que compreende uma bebida não concentrada e não diluída obtida do melão fresco, são e maduro, representa um produto de alto valor agregado (CAVALCANTE; MAGALHÃES, DE BRITO, 2010).

2.3 Suco misto tropical de Caju, Acerola e Melão

Sucos de frutas podem possuir sabor muito intenso, serem muito ácidos ou não muito agradáveis sensorialmente, tornando-os impróprios para serem consumidos sem diluição ou misturados com sucos mais suaves e menos ácidos. Por outro lado, alguns sucos não possuem sabor suficiente para serem diluídos (SOUSA, 2006).

Assim, atualmente, caracterizado pelo dinamismo do setor, há um mercado crescente para sucos mistos que são elaborados com mais de uma fruta, com o intuito de melhorar as características sensoriais dos componentes isolados (BARBOSA, 2010). Além disso, a formulação de *blends* está cada vez mais elaborada, buscando não só o aspecto sensorial, mas também na união de fatores que proporcionem um acréscimo nutricional aos produtos, seja pelo acréscimo do teor de vitaminas com complementação dos nutrientes de diferentes frutas, seja pela inserção de compostos com características funcionais, além de apresentar vantagens, possibilitando melhora das características nutricionais e desenvolvimento de novos sabores (SILVA *et al.*, 2009).

De acordo com a Legislação Brasileira (BRASIL, 2009), o Suco tropical é denominado com uma bebida não fermentada obtida pela dissolução, em água potável ou em suco clarificado de fruta tropical, da polpa de fruta polposa de origem tropical, por meio de processo tecnológico adequado, devendo ter cor, aroma e sabor característicos da fruta, submetido a tratamento que assegure a apresentação e conservação até o momento do consumo. Assim como para Suco, a adição de açúcar é permitida. Destaca-se que os teores de polpas de frutas utilizados na elaboração do suco tropical devem ser superiores aos estabelecidos para o néctar das respectivas frutas.

No Brasil, são produzidos sucos de frutas com teores de polpas de frutas e componentes opcionais diferentes, o que resulta em vários produtos de frutas. Os sucos de frutas tropicais têm as características de serem ricos em vitaminas, sais minerais, açúcares e substâncias antioxidantes, além de proporcionarem sabores e aromas agradáveis. Assim, é necessário que as técnicas de processamento e conservação de sucos sejam eficazes em manter nos produtos processados, as características originais das frutas (SOUSA, 2006).

Não obstante, sucos de frutas são sistemas complexos que consistem de uma mistura aquosa de vários componentes orgânicos voláteis e instáveis, responsáveis pelo sabor e aroma do produto, além de açúcares, ácidos, sais minerais, vitaminas e pigmentos. O conteúdo de açúcares (carboidratos) é elevado e constituído principalmente por glicose, frutose, várias pentoses e pectinas (MORAES, 2006).

Apesar do forte apelo e tradição que muitos sucos de fruta puros têm, há razões lógicas por produzir misturas de sucos puros e produtos de suco que contêm menos de 100% de suco conforme explicam BATES et al. (2001): diminuir custos através da adição de frutas mais baratas às frutas de alto custo; suprir escassez e disponibilidade sazonal de certos nutrientes do suco; compensar sabores excessivamente fortes, como acidez elevada, adstringência, ou amargor; corrigir baixos níveis de sólidos solúveis; equilibrar sucos com sabores fracos ou suaves para torná-los mais atrativos; melhorar a cor; balancear atributos sensoriais entre as misturas; enfatizar propriedades nutricionais ou fitoquímicas de certos produtos; melhorar a textura do suco.

Estudar o suco misto de caju, acerola e melão, conforme outros autores do presente Grupo de Pesquisa estudaram anteriormente, assim como outros sucos provenientes de outras misturas, é interessante do ponto de vista científico e comercial. Sousa et al. (2003) estudaram a formulação de uma mistura de polpas de cinco frutas tropicais (acerola, caju, goiaba, mamão e maracujá) para a elaboração de um néctar misto com 35 % de polpa e 10 % de açúcar, apresentando maior aceitação em misturas com maiores proporções de polpa de goiaba e mamão, e menores proporções das demais, sendo que a polpa de maracujá foi a que mais comprometeu a aceitação.

O suco misto de Caju, Acerola e Melão focado nesta dissertação foi originalmente desenvolvido por MARTINS, I. B. A. (2020), conforme relatado por Deliza et al. (2019), através de um questionário on-line aplicado aos consumidores, solicitando-os que escolhessem frutas para compor um blend com o suco de caju, tendo resultado no melão e acerola os sabores selecionados pelos consumidores. Em seguida, as misturas sugeridas no teste on-line foram avaliadas sensorialmente, com o intuito de escolher a melhor formulação para o suco misto tropical, resultando

em 60% de polpa de caju, 30% de polpa de acerola e 10% de polpa de melão. O total de polpa presente no suco correspondeu a 60% do suco misto, quantidade estabelecida pela Instrução Normativa N° 12, de 4 de setembro de 2003 (BRASIL, 2003) e, para formulação final do suco, adicionou-se 3% de açúcar e 37% de água potável. A associação de uma tecnologia inovadora (Homogeneização a Alta Pressão), ainda incipiente como método de preservação, com a perspectiva de desenvolvimento de um suco nutritivo, motivou assim a execução desta pesquisa.

2.4 Tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (APH)

Quando se refere à produção industrial de sucos, associa-se o tratamento térmico como método de estender o tempo de vida útil do produto. Entretanto, o calor envolvido nesse processo altera e/ou compromete vários componentes essenciais das frutas ocasionando, entre outros fenômenos, a degradação de pigmentos, reações de escurecimento não enzimático, escurecimento enzimático de enzimas não inativadas e oxidação de ácido ascórbico, comprometendo as propriedades funcionais, além das perdas nutricionais e sensoriais, depreciando a qualidade do suco (SUH *et al.*, 2003).

Diante de mudanças de tendências e considerando o aumento da busca por alimentos seguros, mas, com características próximas aos naturais, frescos e com apelo nutricional e funcional, têm sido procuradas alternativas ao processamento térmico, novas técnicas de processamento não térmicas, que produzem alimentos com um mínimo de mudanças possíveis. Entre elas, a Tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (APH) tem sido empregada na pasteurização não térmica de sucos.

O processamento de alta pressão (HPP) ou alta pressão hidrostática (APH) é uma tecnologia de conservação de alimentos não térmica que se aplica em faixas de pressões muito altas (até 6000 bar), às quais os produtos alimentícios são submetidos dentro de um vaso hermético para desativar diferentes microrganismos ou patógenos que podem causar doenças alimentares ou deterioração e alcançar as modificações estruturais desejadas, uma vez que ocorre o rompimento de ligações não covalentes, promovendo a destruição microbiológica, além de possibilitar a inativação de enzimas envolvidas na deterioração dos alimentos. Com isso, é propiciado a manutenção do frescor dos produtos, assim como das demais características sensoriais, como cor, aroma e sabor, bem como das características nutricionais (BALA *et al.*, 2008; CAMPOS *et al.*, 2003, MARTINS, 2020).

Conforme explicam Roobab, Aadil, Madni e Bekhit (2018), o APH tem sido usado como técnica de descontaminação emergente para eliminar a microbiota deteriorada e micro-organismos patogênicos transmitidos por alimentos, visando proteínas microbianas, causando morte celular, enquanto afetam minimamente nutrientes, sabor e frescor dos alimentos.

A técnica consiste em submeter alimentos líquidos ou sólidos a pressões entre 100 e 900 MPa (1 MPa = 9,869 atm = 10 bar), que pode ser associada ou não à elevação moderada da temperatura, sendo normalmente empregado nos sucos a faixa de 400 a 600 MPa, com baixo tempo de retenção e baixas temperaturas em comparação com tratamentos térmicos (MARTINS, 2020).

Quando comparado à pasteurização térmica, o APH é caracterizado por três parâmetros operacionais: temperatura (T), pressão (p) e tempo de tratamento (t). Assim, no processamento de APH, o produto é mantido pelo tempo alvo sob pressão desejada e nível de temperatura (normalmente <10 min) para atingir o nível necessário de condições de acordo com o objetivo do processo (inativação microbiana, modificações de textura, dentre outras) (KAMAT & BALASUBRAMANIAM, 2020).

Esta tecnologia baseia-se em dois princípios: distribuição isostática e princípio de Le Chatelier. O princípio de Pascal ou isostático, considera que a pressão é transmitida de forma uniforme e forma quase instantânea enquanto o tempo do processo de pressurização é independente de sua massa, tamanho ou composição. E o princípio de Le Chatelier se refere ao fenômeno de que mudanças de conformação molecular ou reação química, acompanhado por redução de volume, é favorecido pelo aumento de pressão e vice-versa assim, uma mudança na pressão, temperatura, volume ou concentração empurrar o equilíbrio para neutralizar a mudança e um novo equilíbrio será estabelecido (BALA et al., 2008, BALASUBRAMANIAM et al., 2008, MARTINS, 2020). A condição adiabática do processo (onde não há transferência de calor entre o meio e o sistema) faz com que haja pouca variação de temperatura com o aumento da pressão, o que previne que o produto sofra grandes alterações que ocorreriam pelo aquecimento (MARTINS, 2020).

APH pode danificar membranas celulares bacterianas, afetar a homeostase, desnaturar e inativar proteínas, incluindo enzimas envolvidas na replicação, e pode alterar a morfologia da célula. A taxa de mortalidade dos microrganismos é diretamente proporcional à pressão aplicada, o que significa que o tratamento de pressurização prolongado não necessariamente promove os efeitos letais (PATTERSON, QUINN, SIMPSON E GILMOUR, 1995). Tal pasteurização de alta pressão inativa patogênicos e deterioração bactérias, leveduras e bolores, no entanto, o tratamento tem eficácia limitada contra esporos; nesse caso, o APH pode ser usado como uma abordagem de barreira em combinação com outras tecnologias. Além dos parâmetros APH (pressão, temperatura, tempo), a segurança microbiana depende da composição dos alimentos, pH, atividade de água e tipo de microrganismo.

Não obstante, a APH é capaz de resultar em produtos seguros por meio da inativação de microrganismos, mantendo as características nutricionais e sensoriais das substâncias. A

desnaturação proteica pode também promover a inativação total ou parcial de enzimas, provocando alterações dos mecanismos de atividade da polifenoloxidase (PPO) e da peroxidase (POD). Como a PPO e a POD são enzimas deteriorantes de frutas e hortaliças, que, através de reações bioquímicas como a hidroxilação e a oxidação de estruturas fenólicas, transformam os fenóis existentes nos vegetais em compostos que conferem coloração escura ao alimento (CHEFTEL, 1995), a inativação das mesmas pode ter efeito benéfico na manutenção de cor e preservação dos substratos potencialmente bioativos.

Conforme estudos de Martins (2020), pressões abaixo de 200 MPa resultaram em mínimos efeitos à qualidade nutricional e sensorial de suco misto com formulação análoga à utilizada no presente estudo, sobretudo devido à preservação aos compostos bioativos como vitaminas e compostos relacionados ao aroma e sabor, já que o processo não afeta ligações covalentes presentes nessas substâncias, afetando porém ligações não covalentes presentes em enzimas deteriorantes ou responsáveis pelo metabolismo dos microrganismos.

A definição da pressão, temperatura e do tempo de processamento a ser aplicado no tratamento por APH na inativação de microrganismos depende de diferentes variáveis, tais como características do produto (variedade da fruta, considerando tratar-se de fruta inteira, partes da fruta, néctar ou suco), tipo de embalagem, baroresistência do microrganismo, temperatura de crescimento e fase do crescimento microbiano, pH, umidade, além as condições operacionais (KOUTCHMA *et al.*, 2016).

A APH pode ser aplicada tanto em alimentos embalados, efetuando-se a pasteurização do produto já dentro da embalagem final, ou diretamente no produto, como pasteurização contínua, para ser posteriormente embalado (CAMPOS *et al.*, 2003).

Uma ampla visão geral do trabalho anterior nesta área é dada em Koutchma, Popovi'c, Ros-Polski e Popielarz (2016) que discutiram alimentos como sucos de frutas e vegetais frescos com baixo e alto teor de ácido tratados com APH e relataram alto nível de retenção de vitamina C e TPC (teor residual médio de 92%), bem como antocianinas (86% teor residual médio), resultando em melhores sucos frescos.

Em estudo desenvolvido por Stinco *et al.*, 2019, APH (450 e 600 MPa por 5 min) prolongou a vida de prateleira do suco de cenoura até 14 semanas sem qualquer conservante, e o suco mantido sua aparência natural turva com baixa degradação de carotenóides (26%).

Enquanto o efeito sinérgico de APH (200-500 MPa) com bacteriocinas (niacina) (25 e 50 ppm) e temperaturas amenas (35 e 50 °C) no suco de cenoura provou ser mais poderoso na inativação *L. innocua* e *E. coli* (7 log UFC/mL), pois APH danifica a célula externa membrana e dessa forma

expõe o citoplasma à nisina enquanto tornando o procedimento mais eficiente (POKHREL et al., 2019).

Atividade relativa de POD e PPO em polpa de açaí utilizando APH a 65 °C e 600 Mpa manteve a cor do produto, mas melhorou a relação PPO atividade durante o armazenamento por 24 h a 5 °C em comparação com o tempo zero, indicando que a inativação da PPO é parcialmente reversível após 24 h. O reativação enzimática por APH possivelmente depende do valor limite de compressibilidade, bem como sobre a natureza da enzima e seu ambiente circundante. A alta pressão diminui o volume da reação e altera a conformação da enzima, o que afeta o número de sítios ativos com o subsequente aumento/diminuição da atividade enzimática (RAJ, CHAKRABORTY E RAO, 2019).

De acordo com Marszałek, Doesburg, et al. (2019), pressão (200–600 MPa) temperatura (5–45 °C) e tempo (1–15 min) tiveram efeitos significativos nas atividades PPO e POD (<1 e 33%, respectivamente) em suco de maçã sem afetar as propriedades físico-químicas como pH, açúcares, vitamina C e sólidos solúveis totais.

Ademais, conforme destaca Farr (1990), para a inativação de enzimas resistentes à pressão, como as pectinolíticas e polifenoloxidasas, é necessário um tratamento térmico moderado combinado com a alta pressão. Outro fato evidenciado por Tonello (2011), porém, é que o tratamento com APH pode apresentar limitações em produtos vegetais que apresentam pH relativamente elevado pode ser problemático, devido a possibilidade de sobrevivência e crescimento de esporos de microrganismos patogênicos (TONELLO, 2011).

2.5 Homogeneização a Alta Pressão (HAP)

A homogeneização a alta pressão (HAP ou HPH), também conhecida como tecnologia de ultra-cisalhamento, conforme explicam Roobab et al. (2021) consiste em uma câmara de alta pressão onde o fluido pressurizado é forçado através de um pequeno espaço para uma área de pressão mais baixa. A indústria alimentícia usa homogeneizadores na faixa de pressão de 20 a 100 MPa, mas a homogeneização avançada sistemas podem ter até 400–600 MPa (SEVENICH & MATHYS, 2018).

Durante o processamento HAP, microfluxos de alta velocidade geram cisalhamento de alto impacto e colisões à medida que passam por uma abertura estreita ou válvula de homogeneização. O gradiente de velocidade resultante, cavitação, cisalhamento, turbulência e ondas de choque interrompem as partículas suspensas e liberação de seu material celular (SANTIAGO et al., 2017).

É amplamente aceito que as pequenas moléculas (compostos voláteis, pigmentos, aminoácidos e vitaminas) no suco não são afetados pela pressão devido à sua estrutura relativamente

simples em comparação com moléculas maiores como proteínas, enzimas, polissacarídeos e ácidos nucleicos (SALEHI, 2020).

Segundo estudos de Roobab et al. (2021) com sucos de tangerina tratados com HAP (150 MPa) foi observado aumento de cinco vezes no total bioacessibilidade de carotenóides em comparação com a pasteurização tradicional (65 °C/15 s, 85 °C/15 s e 92 °C/30 s), o que sugere um efeito positivo da redução de tamanho que facilitam a digestão e resultou em níveis mais elevados de epoxicarotenóides em sucos HAP digeridos. Além disso, a bioacessibilidade de flavonóides de amostras tratadas com HAP permaneceu inalterada e as amostras tinham teor de ácido ascórbico e turvação semelhantes sucos frescos (SENTANDREU et al., 2020).

Um trabalho conceitualmente semelhante foi demonstrado por Zhang et al. (2019) em que o efeito da HAP (200–500 bar por 15 min, 2 passagens) e tratamentos de ultrassom (EUA: 200–800 W, 25 Hz, amplitude de 50 µm por 20 min) foram comparativamente avaliados para examinar a estabilidade e bioacessibilidade *in vitro* de tomate carotenóides do suco. O teor máximo de licopeno total (777 µg/100 g) foi obtido a 200 bar; enquanto 500 bar reduziu o licopeno em 48% sem afetando o conteúdo de β-caroteno e a atividade antioxidante.

Outro trabalho realizado por Liu, Liu, Bi, Cao et al. (2019) com bebida de cenoura, utilizando HAP com intensidades moderadas de pressão e temperatura (40–190 MPa, 1–5 passagens, 20–60 °C) observou-se carotenóides mais bem conservados em comparação com TP (90 °C por 5 min). A estabilidade dos carotenóides não só varia com a gravidade das temperaturas/luz, condições de armazenamento e embalagem, mas também depende das características de composição dos alimentos, como oxigênio, tamanho de partícula e estado físico dos carotenóides (LIU, LIU, BI, CAO, et al., 2019).

Outro estudo dos mesmos autores descobriu que o aumento da temperatura de entrada melhorou a bioacessibilidade total de carotenóides, utilizando HAP 20–180 MPa, 1–3 passagens e temperatura de entrada de 25–70 °C, o que melhorou a estabilidade do suco e o carotenoide total bioacessibilidade influenciando a estrutura da pectina e aumentando a liberação de carotenóides. Com a entrada da temperatura subindo de 20 para 60 °C, a redução da contagem total de placas em 1 passagem HAP a 190 MPa foi aumentada de 0,54 para 2,32 log UFC/mL.

Além disso, a correlação entre pectina, teor de ácido urânico e a bioacessibilidade total de carotenóides foi investigada. O tratamento por HAP aumentou a teor de ácido urânico, diminuiu o grau de metoxilação (76,24%- 53,85%) e proteínas solúveis em água acetiladas (2,26%-1,52%) em comparação com sucos de cenoura não homogeneizados (LIU, LIU, BI, YI, et al., 2019). O suco de cenoura tratado com HAP exibiu aumento da viscosidade sérica durante o armazenamento devido ao

aumento da solubilização da pectina. A HAP induzido provocou mudanças estruturais na pectina, preveniu a despolimerização da pectina e enzimas degradantes de pectina inativadas, consequentemente reduzindo a velocidade de sedimentação (LIU, LIU, BI, CAO, et al., 2019).

No entanto, um trabalho realizado por Guan et al., (2016) com suco de manga demonstrou que as extensas forças de cisalhamento aplicadas durante o HAP (190 MPa a 60 °C temperatura de entrada e 1-3 passagens) resultou em uma redução completa da contagem microbiana (inativação completa de bolores e leveduras, enquanto contagem total de placas estava abaixo de 2,0 log UFC/mL) equivalente a pasteurização, juntamente com a ruptura significativa na matriz vegetal (GUAN et al., 2016).

A inativação microbiana induzida por HAP é resultado de tensão de cisalhamento, pressão espacial e gradientes de velocidade, turbulência e cavitação; no entanto, a temperatura e o padrão de fluxo do fluido podem desempenhar um papel importante por hidrogênio enfraquecido e ligações hidrofóbicas da membrana celular, tornando as membranas bacterianas menos resistentes a altas pressão, exibiu mais turbulência, aumentando a cavitação e resultando no aumento da inativação microbiana. A sobrevivência dos microrganismos depende do estado físico-químico dos alimentos, como atividade de água e pH, que devem ser conhecidos para otimizar a parâmetros para tecnologias baseadas em alta pressão, especialmente o pressão de operação, temperatura de entrada e o número de passagens no caso de HAP (GUAN et al., 2016).

Segundo estudos de Roobab et al. (2021) foi notado que existe uma janela de processamento ideal para diferentes produtos e mais tratamento pode ser menos benéfico em alguns casos. Por exemplo, HAP (110 MPa e 70 °C) o ginkgo biloba turvo tratado apresentou melhor estabilidade e propriedades (até 4 meses de armazenamento) até 70 MPa depois disso fenômeno de superprocessamento de bebidas ocorreu na maior pressão de homogeneização (Ni, Zhang, Fan, & Li, 2019). Além disso, o tratamento HAP (75–125 MPa, 1–3 passagens) resolveu o problema de sedimentação do néctar de rosa mosqueta durante o armazenamento com características bioativas e físicas minimamente perturbadoras (SARICAOGLU et al., 2019). O alto estresse mecânico produzido pelo HAP diminuiu o tamanho das partículas, o que diminuiu sedimentação e separação do soro durante o armazenamento por 15 dias. O aumento da temperatura de saída do produto afetou minimamente o total conteúdo fenólico (TPC) e conteúdo de ácido ascórbico. No entanto, o teor de carotenóides totais aumentou significativamente com o aumento da pressão e do número de passagens, e causou aumento da capacidade antioxidante total, mesmo que o TPC e o ácido ascórbico diminuíssem (SARICAOGLU et al., 2019).

Da mesma forma, uma comparação de HAP (50 MPa por 3 min), foi relatado por Yildiz et al. (2019) onde o autores afirmaram que HAP preservou o ácido ascórbico e mostrou alta capacidade antioxidante do suco de pêsego durante 4 semanas de armazenamento.

Hoje em dia, bebidas à base de vegetais, feijão ou nozes estão atraindo mais atenção como uma alternativa às bebidas lácteas usando coco, amêndoa, amendoim, avelã e soja. HAP (150 MPa) tratado a bebida láctea de avelã melhorou as propriedades microestruturais (mostrou uma redução significativa no tamanho das partículas) e melhorou a consistência e a perda por atrito (GUL et al., 2017). A consistência melhorada é o resultado da sinergia ação de enzimas endógenas relacionadas à pectina e tratamento da HAP, que minimiza as perdas por atrito e o consumo de energia durante o processamento e distribuição. HAP afeta a causa do peso molecular da pectina sérica despolimerização da pectina sérica (que foi estimulada por PME e PG) e melhorou a sua consistência.

Inicialmente, a ativação de enzimas endógenas induziram a degradação da pectina e aumentaram rendimento, que liberou água aprisionada e solubilizou a pectina do partículas no soro. No entanto, a desintegração mecânica do tecido por HAP (100 MPa) reduziu o tamanho das partículas, uniformizou-as e reduziu o rendimento de soro que restaura parcialmente a perda de consistência do tomate purê em comparação com o processamento convencional de hot break a 95 °C por 30 min (SANTIAGO et al., 2017).

A Homogeneização por Ultra Alta Pressão (UHPH) é uma tecnologia emergente cuja sua finalidade é obter produtos alimentícios com melhor qualidade do que os tratamentos térmicos convencionais. É fundamentada no mesmo princípio da Homogeneização a Alta Pressão (HAP), mas trabalha com pressões significativamente mais altas (até 400 MPa). Cavitação, turbulência, impacto e forças de cisalhamento são fenômenos físicos que ocorrem durante o processamento de UHPH (FLOURY et al., 2002). Forças mecânicas atuam no produto alimentício líquido, causando uma emulsão fina e estável (THIEBAUD et al., 2003) e promovendo a inativação microbiana e enzimática (HAYES et al., 2005) uma vez que todas as partículas coloidais, desde macromoléculas a micro-organismos, podem ser destruídas mecanicamente ao passar pela válvula de alta pressão. Uma outra característica significativa desta tecnologia é de ser um processo contínuo, altamente eficiente para fins de aplicação industrial.

2.6 Reologia

O comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação devido à um campo de tensões. Importantes nos fenômenos relacionados à transferência de massa que têm lugar nos processos industriais, as características reológicas são

também imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e correlação de parâmetros físicos e sensoriais (BEZERRA, 2000).

Todos os produtos líquidos derivados de frutas são sistemas bifásicos, compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso. Alguns apresentam escoamentos newtonianos, embora a maioria flua com características pseudoplásticas, mostrando, por vezes, uma resistência inicial ao fluir e/ou uma dependência do tempo. A variabilidade do comportamento reológico está relacionada com a alteração estrutural provocada pelo cisalhamento (COSTELL & DURAN, 1982).

O conhecimento do comportamento reológico dos alimentos é útil, não somente para o controle de qualidade do produto, mas principalmente para o dimensionamento de sistemas de tubulação, trocadores de calor, filtros, bombas, entre outros (VASQUES, 2003). Ibarz et al. (1996) salientaram a importância do conhecimento do comportamento reológico dos derivados de frutas, que deve ser utilizado nos parâmetros de qualidade, de avaliação e operação dos equipamentos processadores de tais produtos. A reologia aplicada ao comportamento dos fluidos é descrita através de modelos reológicos, que relacionam tensão de cisalhamento com a taxa de deformação. A escolha do modelo a ser utilizado deve ser atrelada às características do fluido.

O comportamento reológico classifica os fluidos em newtonianos e não-newtonianos. Os newtonianos caracterizados por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido. Os não-newtonianos são os fluidos inelásticos, dependentes ou independentes do tempo, de modo que os independentes não são afetados pelo histórico anterior de cisalhamento: os denominados pseudoplásticos (NAGY et al., 1993).

O modelo reológico mais simples é o newtoniano. No entanto, a maioria dos alimentos fluidos não apresenta esse tipo de comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização (BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Nos sucos de frutas, de acordo com Ibarz et al. (1996), o comportamento reológico, em geral, segue o comportamento não-newtoniano, descritos por modelos entre os quais, alguns dos mais utilizadas são a Lei da Potência, a equação de Bingham e a equação de Mizrahi-Berk, apresentadas nas equações (1), (2) e (3), respectivamente:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + \mu\dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\tau^{0,5} = K_0M - KM(\dot{\gamma})^n \quad (3)$$

Nessas equações, τ é a tensão de cisalhamento, τ_0 é a tensão inicial, $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação, KoM é a raiz quadrada da tensão inicial de Mizrahi-Berk, K e KM são os índices de consistência, n é o índice de comportamento de fluido e μ_p é a viscosidade plástica.

O entendimento do comportamento reológico dos sucos de frutas tropicais é de extrema importância para a indústria de alimentos, possibilitando estabelecer condições de processamento e poder ser um indicativo de como o alimento irá se comportar sob as diversas condições de processos a que podem ser submetidos. Quando se trata de uma mistura de frutas no desenvolvimento de produtos, deve-se ressaltar as interações que ocorrem entre os componentes presentes nestas frutas, que são fatores capazes de influenciar diretamente as características reológicas do produto (HAMINIUK et al., 2013).

Em se tratando de um suco de frutas, sabe-se que é uma bebida composta de duas fases, a primeira aquosa, que é constituída principalmente de água e demais compostos solúveis, como enzimas, peptídeos, proteínas vegetais, ácidos orgânicos, polissacarídeos e açúcares. E a segunda fase compreendendo todo o conteúdo insolúvel, como células inteiras, rompidas ou fragmentadas, fibras e cadeias de polímeros insolúveis, suspensos na primeira fase. A dissolução dos compostos presentes na fase aquosa do suco afeta o seu comportamento reológico, de acordo com Moelants et al. (2013) e Leite et al. (2014). Basicamente, a reologia dos sucos é fundamentada na interação da fase aquosa e dispersa, como também na interação que ocorre entre os constituintes presentes em cada fase. Conforme Vitali e Rao (1984) e Augusto et al. (2012), a fase aquosa demonstra comportamento Newtoniano e, a dispersa, comportamento não-newtoniano.

Hsu et al. (2008) estudaram o efeito da APH em suco de tomate e obtiveram a redução de viscosidade do suco (400 MPa/15 min) ao longo do armazenamento a 4 °C. Autores afirmam que a perda da viscosidade é atribuída a precipitação da polpa e a degradação da pectina em virtude da ação das enzimas PME e PE (ABDULLAH et al., 2007; MAKTOUF et al., 2014). No estudo de Zhou et al. (2017), foram obtidos resultados referente ao suco de manga analisado. Foi observado um aumento na viscosidade após ser submetido à HAP.

Martins (2019) e outros autores em seus estudos sobre o comportamento reológico de amostras de Okara (um subproduto de baixo valor comercial resultante do processamento do extrato hidrossolúvel de soja), forneceu três parâmetros da seguinte forma: tensão de escoamento (σ_0), índice de consistência (k) e índice de comportamento do fluxo (n). O comportamento do fluxo e o efeito do HPH usando uma passagem, na reologia parâmetros de okara, a 25 °C. Quando comparada a OCT, a amostra 25 MPa-1p apresentou redução de 66% e 85% em σ_0 e k , e nenhuma queda adicional foi observada em pressões superiores a 25 MPa-1p ($p>0,05$). Em relação ao parâmetro n , foi observado

pelos pesquisadores um aumento de 45% e 53% para 25 MPa-1p e 75 MPa-1p, respectivamente, quando comparado ao OCT, sem mais incremento nas pressões superior a 75 MPa-1p ($p > 0,05$).

Observou-se que a homogeneização aumentou o índice de comportamento do fluxo e diminuiu o índice de consistência, como observado em outros estudos com matrizes vegetais. Eles observaram que a aplicação de HPH de passagem única usando pressões de 0 a 175 MPa levou a um redução considerável dos parâmetros k e σ_0 , e aumento de n , demonstrando que o amostras estavam mais próximas do comportamento newtoniano. As mudanças mais significativas foram observadas para σ_0 e k usando uma única passagem a 25 MPa, em a 75 MPa. O uso de passagens múltiplas (2p ou 3p) levou a mudanças nos parâmetros reológicos do okara, que ficaram mais evidentes no pressões mais baixas estudadas (25 e 75 MPa).

Os resultados da análise reológica sugerem que a tecnologia HAP pode fornecer melhor textura para okara, enquanto as propriedades de fluxo fornecem informações sobre a estrutura do alimentos durante o processamento industrial (MARTINS, 2019).

2.7 Estabilidade Física

O processamento de alimentos tem por objetivo, em geral, realizar transformações no produto *in natura* a fim de agregar valor e/ ou aumentar sua vida útil, podendo haver mudanças no sabor, cor ou textura, inativação de microrganismos e/ou enzimas, entre outros aspectos. Conforme mencionado anteriormente, para definição do processo adequado para alcançar um objetivo específico é comumente necessária conhecer a taxa na qual o atributo varia com o tempo, sendo esta taxa normalmente dependente de vários fatores, como umidade, pH, temperatura e presença de catalisadores no meio (MIZRAHI, 2004).

Polpas e sucos são alimentos que passaram por um processo de transformação e são resultados da desintegração de frutas e vegetais, constituindo-se em uma mistura sólido-líquida. Na fase líquida estão presentes os compostos solúveis, representados por vitaminas, sais minerais, carboidratos e a água, sendo a fase sólida composta de sólidos insolúveis, representados pelas células, trituradas ou não, constituídas por celulose, substâncias pécnicas, proteínas constituintes da parede celular de frutas e vegetais, entre outros (FENIMAN, 2004).

Dessa maneira, é crucial que se avalie a estabilidade desses alimentos, que são sujeitos à deterioração. A estabilidade de suspensões como os sucos de frutas está relacionada com a ocorrência de reações químicas que comprometem suas qualidades sensoriais (aroma, sabor, cor, consistência, turbidez e sedimentação) e que podem gerar perdas nutricionais (KARWOWSKI, 2012). A estabilidade também depende do modo como as partículas interagem durante o momento de colisão,

sendo uma possibilidade a formação de aglomerados de partículas. Esses aglomerados são estruturas porosas formadas pela união de diversas partículas primárias que, quando presentes na suspensão, podem absorver parte da água ou do líquido, resultando na separação das partículas (MARTINS, 2001).

A redução da distância entre as partículas finas, provocadas pelo aprisionamento de água ou líquido no interior dos aglomerados, eleva o número de colisões e, conseqüentemente, a viscosidade da suspensão (VENDRÚSCULO, 2005). Assim, para sistemas não estabilizados de sucos de frutas, a sedimentação dos aglomerados é favorecida, promovendo uma rápida separação entre as fases sólidas e líquidas, prejudicando a homogeneidade e estabilidade da suspensão (VENDRÚSCULO, 2005).

Desse modo, quando as partículas sólidas suspensas em um líquido se depositam por gravidade no fundo do recipiente, ocorre o processo de sedimentação (RETICENA, 2015). O princípio básico do processo é dado pela lei de Stokes, segundo a qual o movimento das partículas sólidas através de um fluido ocorre em função de forças de origem gravitacional, centrifugacional, ou de outra ordem. A estabilidade das suspensões está, assim, relacionada ao modo como as partículas interagem durante o momento de colisão no meio aquoso, podendo ocorrer a formação de aglomerados de partículas. Esses aglomerados que se formam pela união de diversas partículas primárias presentes na suspensão, a partir da absorção de parte da água ou do líquido e se estruturam como aglomerados porosos (VENDRÚSCULO, 2005).

Dessa maneira, o tamanho das partículas é, sem dúvida, o fator mais importante que influencia a velocidade de sedimentação. É representado na Equação de Stokes como r^2 , onde r é o raio médio das partículas dispersas. A velocidade de sedimentação é diretamente proporcional ao quadrado do raio da partícula. Isto indica que pequenas variações no raio das partículas causam grandes variações na velocidade de sedimentação. A velocidade de sedimentação é inversamente proporcional à viscosidade do meio dispersante. Quanto mais viscosa a fase aquosa, mais lentamente as partículas sedimentarão (LIMA; LUZ, 2001). Em sucos cítricos, a ação da enzima, as quais reagem com íons, podem formar compostos insolúveis, que desestabilizam a turbidez ou clarificação natural do suco (CASTALDO *et al.*, 1991).

Não obstante, a análise de cor dos sucos está diretamente relacionada a fatores de estabilidade de suspensões, além de influenciar diretamente nas suas características reológicas. Para sistemas não estabilizados de sucos de frutas, a sedimentação dos aglomerados é favorecida, promovendo uma rápida separação entre as fases sólidas e líquidas da suspensão, prejudicando a homogeneidade e estabilidade da suspensão. Dependendo do objetivo, o efeito pode ser benéfico, como nos produtos

clarificados, ou prejudiciais quando se quer manter o sistema turvo. Quanto menor a diferença de densidade entre as fases, menor será a velocidade de sedimentação (GODOY, 1997).

2.8 Microbiologia

A conservação dos sucos de frutas é determinada, primeiramente, pela prevenção do crescimento de microrganismos deteriorantes e pela inibição da ação de enzimas naturais, que são normalmente obtidas por meio do tratamento térmico e/ou pelo uso de conservantes químicos ou pela comercialização dos produtos sob refrigeração/congelamento (MORAES, 2006).

A deterioração de natureza microbiológica dos sucos limita-se comumente aos microrganismos tolerantes ao meio ácido, com predomínio de bactérias lácticas, leveduras e fungos, sendo que as bactérias produtoras de ácido láctico apresentam resistência térmica muito baixa. A degradação por leveduras é frequentemente associada aos sucos refrigerados ou concentrados.

A resistência térmica dos esporos de leveduras é maior nos sucos concentrados, quando comparados aos sucos integrais. Isso se deve ao efeito protetor dos açúcares e da alta concentração de ácido cítrico sobre a estabilidade dos esporos (MORAES, 2006). Para sucos de frutas que passam por tratamento térmico adequado, os problemas microbiológicos mais frequentes estão associados à presença de fungos deterioradores como *Byssochlamys fulva*, *B. nivea*, *Neosartoria ficheria* e *Penicillium dangeardii* (MAIA et al. 2009).

Os fungos se desenvolvem em meios especiais de cultivo formando colônias de dois tipos: leveduriformes e filamentosas. As colônias leveduriformes, em geral, são pastosas ou cremosas e caracterizam o grupo das leveduras. São microrganismos unicelulares, em que a própria célula cumpre as funções vegetativas e reprodutivas (TRABULSI; ALTERTHUM, 2005).

As leveduras são consideradas organismos de alto potencial de deterioração em produtos ácidos, sendo a causa mais comum de deterioração em sucos de frutas (SANTOS e RIBEIRO, 2006). Leveduras possuem elevada tolerância em meio ácido, possuem capacidade de se desenvolverem anaerobicamente e também apresentam maior resistência térmica em relação às bactérias e à maioria dos bolores (CORREA-NETO, R. S.; FARIA, J. A. F, 1999), o que as tornam capazes de degradar sucos e produtos acidificados. Santos e Ribeiro (2006) apontam que a presença em excesso de bolores e leveduras é indicativa de manipulação inadequada, conforme anteriormente considerado, podendo ter havido falhas na limpeza/sanitização das frutas e/ou manuseio realizado em condições inadequadas.

A contagem de aeróbios mesófilos é utilizada para obter informações gerais sobre a qualidade dos produtos, condições de processamento, manipulação. Populações altas de bactérias podem

indicar deficiências na sanitização ou falha no controle do processo (SILVA et al., 2010). Mesmo na ausência de patógenos, o número elevado indica que o alimento está insalubre. Se a quantidade encontrada no alimento for maior que 10^6 UFC/g, por exemplo, já se pode observar alterações detectáveis no alimento. Uma contagem elevada em alimentos não perecíveis indica processamento inadequado do ponto de vista sanitário, ou que a matéria-prima estava contaminada (CARVALHO, 2010).

Salmonella é um gênero da família *Enterobacteriaceae*, definido como bastonetes Gram negativos não esporogênicos, anaeróbios facultativos e oxidase negativos. As salmonelas são classificadas em duas espécies: *S. entérica* e *S. bongori* (TRABULSI; ALTERTHUM, 2005).

A *Salmonella* spp. é responsável por graves intoxicações alimentares. Destaca-se que a maioria dos sorotipos desse gênero são patogênicos ao homem, apresentando diferentes sintomatologias como dor de cabeça, febre, vômito, cólicas, náuseas e diarreia, em decorrência da variação no mecanismo de patogenicidade (SHINOHARA et al., 2008).

Os coliformes totais, termotolerantes, bactérias mesófilas aeróbias, fungos, leveduras e *Salmonella* spp. são grupos ou espécies de microrganismos denominados indicadores. Quando presentes em alimentos podem fornecer informações sobre a ocorrência de contaminação de origem fecal, provável presença de patógenos, além de poderem indicar condições sanitárias inadequadas durante o processamento, produção e armazenamento. Portanto, avaliar sua presença em alimentos e inclusive em especiarias é muito importante e, devido a esses produtos possuírem baixa umidade, não se imagina que possa haver uma contaminação (CARVALHO, 2010).

2.9 Características físico-químicas

2.9.1 pH

O pH é o parâmetro que determina a o nível de acidez ou basicidade de uma substância. Este parâmetro 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). Vários fatores tornam importante a determinação do pH de um alimento, tais como: influência na palatabilidade, desenvolvimento de micro-organismos, escolha da temperatura de esterilização, escolha do tipo de material de limpeza e desinfecção, escolha do equipamento com o qual se vai trabalhar na indústria, escolha de aditivos e vários outros (CHAVES et al., 1993).

2.9.2 Acidez

A relação entre o teor de Sólidos Solúveis Totais e Acidez Total Titulável (SST/ATT), denominada ratio, é uma das melhores formas de avaliação do sabor de um fruto. Do ponto de vista industrial, o teor elevado de ATT (acidez total titulável) diminui a necessidade de adição de acidificantes e propicia melhoria nutricional, segurança alimentar e qualidade organoléptica (ROCHA et al., 2001).

2.9.3 Teor de Sólidos Solúveis (°Brix)

Os sólidos solúveis totais (°Brix) são usados como índice de maturação para alguns frutos, e indicam a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidos no suco, sendo constituído na sua maioria por açúcares (CHAVES et al., 2004). É utilizado como controle da qualidade do produto final, controle de processos, ingredientes entre outros (ALVES et al., 1996).

2.10 Compostos Bioativos

2.10.1 Vitamina C

A vitamina C tem múltiplas funções no organismo. É necessária para a produção e manutenção do colágeno (substância protéica encontrada em todos os tecidos fibrosos); é responsável pela cicatrização de feridas, fraturas, contusões e sangramentos gengivais; reduz a suscetibilidade à infecção, desempenha papel na formação de dentes e ossos, aumenta a absorção de ferro e previne o escorbuto. Desse modo, a vitamina C torna-se importante no desenvolvimento e manutenção do organismo humano (SOUSA, 2006).

2.10.2 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos são responsáveis pela atividade antioxidante de diversos vegetais. Alguns compostos fenólicos, em virtude de sua reatividade, particularmente com enzimas e elementos minerais, são compostos considerados em certos aspectos como fatores antinutricionais, pelo fato de poderem interferir com a digestão de proteínas e absorção de minerais. Entretanto, estudos mais recentes têm revelado propriedades funcionais fisiológicas importantes desses compostos, na proteção dos órgãos e tecidos contra o estresse oxidativo e contra a carcinogênese.

Dentre os compostos fenólicos com propriedade antioxidante, destacam-se os flavonóides que, quimicamente, englobam as antocianinas e os flavonóis. As antocianinas são pigmentos solúveis

em água, amplamente difundidas no reino vegetal, e conferem as várias nuances de cores entre laranja, vermelha e azul encontradas em frutas (FRANCIS, 1989).

Componentes fenólicos também são importantes pela contribuição na qualidade sensorial de frutas (coloração e sabor, inclusive adstringência e amargor), que pode ser afetada durante os processos tecnológicos usados na produção de suco e seus derivados. Além disso, antocianinas e outros compostos fenólicos têm sido prosperamente usados na caracterização de frutas e sucos. O caju e a acerola, utilizados na formulação do suco misto neste estudo, são ricos em fenólicos (SOUSA, 2006).

2.10.3 Capacidade Antioxidante

Os vegetais, em particular as frutas, apresentam em sua constituição vários compostos com ação antioxidante, incluindo o ácido ascórbico, carotenóides e polifenóis. A quantidade e o perfil destes fitoquímicos variam em função do tipo, variedade e grau de maturação da fruta, bem como das condições climáticas e edáficas do cultivo. Para avaliar a capacidade antioxidante de um vegetal, é necessário obter-se o máximo de extração dos compostos bioativos, os quais apresentam polaridade diferenciada. Desta forma, a solubilidade em um determinado solvente é característica peculiar do fitoquímico, o que explica a inexistência de um procedimento de extração universal (MELO et al, 2008).

A capacidade antioxidante é baseada na capacidade de eliminar espécies reativas de oxigênio e eletrólitos. É atribuída principalmente aos compostos fenólicos e, em menor grau, ao teor de vitamina C (QUEIROZ *et al.*, 2010; CAO *et al.*, 2012; CAMIRO-CABRERA *et al.*, 2017). Diversas metodologias são 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 empregados para realizar a análise, com diferentes princípios e mecanismos e envolvidos.

3 Materiais e métodos

3.1 Matéria-Prima

O suco misto tropical foi produzido com polpa de Caju, Acerola e Melão originária da fruta *in natura* prensada na Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro - RJ. As frutas caju, acerola e o melão foram obtidos de loja da empresa Hortifruti, localizada no Bairro Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, RJ.

3.2 Formulação e Processamento do Suco Misto de Frutas Tropicais

A formulação do suco misto de Caju, Acerola e Melão foi baseada no estudo de MARTINS (2020), sendo composta por 60% de polpa de Caju, 30% de polpa de Acerola e 10% de polpa de melão. O desenvolvimento desta formulação foi elaborado conforme Deliza et al. (2019), através de questionário on-line aplicado aos consumidores, solicitando que escolhessem frutas para compor um blend com o caju. As frutas selecionadas pelos consumidores foram o melão e a acerola. Em seguida, as misturas sugeridas no teste on-line foram avaliadas sensorialmente, com o intuito de escolher a melhor formulação para o suco misto tropical. O total de polpa presente no suco corresponde a 60% do suco misto, quantidade estabelecida pela Instrução Normativa N° 12, de 4 de setembro de 2003 (BRASIL, 2003) e, para formulação final do suco, adicionou-se 3% de açúcar e 37% de água potável.

No estudo de Martins (2020), desenvolveu-se um suco misto tropical de caju, acerola e melão com baixo teor de açúcar adicionado baseado em respostas sensoriais e nutricionais. Além disso, investigou-se também a influência da adição de aromas idênticos ao natural na percepção de doçura e nas características sensoriais do suco. O trabalho experimental foi desenvolvido em três partes principais, sendo elas: 1) avaliação da expectativa e da percepção do consumidor em relação às tecnologias utilizadas para produção de sucos de frutas no Brasil e em relação ao suco de caju e de alguns blends de frutas tropicais; 2) desenvolvimento da formulação do suco misto tropical com baixo teor de açúcar adicionado; 3) efeito do processamento térmico (pasteurização) e do tratamento por APH (em diferentes níveis de pressão e tempo) sobre a qualidade do suco misto desenvolvido.

No presente trabalho, as frutas foram selecionadas e sanitizadas por submersão em hipoclorito de sódio 200 ppm por 15 minutos, visando reduzir a possível contaminação presente nas frutas adquiridas. Após sanitizadas, houve a remoção das cascas, sementes e das castanhas, no caso do caju, para, em seguida, a efetivação dos cortes das frutas e a extração das polpas. O equipamento utilizado foi uma despulpadeira da marca Itametal, conforme a Figura 01, localizada na Planta II - Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.



Figura 01 – Despolpadeira marca: Itametal.
Fonte: Própria Autora, 2021.

O processo foi realizado em local climatizado (20 a 21°C), para que se evitasse dano às frutas processadas, como aceleração de escurecimento enzimático e agravamento de injúrias.

Após a extração da polpa (Figura 02), os sucos formulados foram devidamente acondicionados em embalagens de polietileno (600 mL) (Figura 03), as quais foram em seguida seladas a vácuo, de acordo com o diagrama de blocos apresentado na Figura 06. Posteriormente, parte das amostras foram pressurizadas, sendo identificadas e comparadas com amostras *in natura* e pasteurizada, e identificadas como segue: (CONTROLE) correspondente ao suco misto de frutas tropicais *in natura*, (PASTEURIZADO) correspondente ao suco misto de frutas pasteurizado (90°C/ 1 min.), (HAP 50 e HAP 100) correspondente ao suco misto de frutas homogeneizado a alta pressão de 50 e 100 MPa, e (APH 400/5min) e (APH 500/5min), referindo-se ao suco misto de frutas processado por alta pressão hidrostática a pressão de 400 e 500 MPa, respectivamente, por um período de 5 minutos, conforme previamente pesquisado por MARTINS (2020) e ilustrado na Figura 03.



Figura 02 – Polpas embaladas e seladas a vácuo.
Fonte: Própria Autora, 2021.



Figura 03 - Suco misto de frutas submetido a alta pressão hidrostática.
Fonte: Própria Autora, 2021.

3.3 Desenho Experimental

O suco misto de frutas tropicais foi submetido aos seguintes processos, conforme mostrado na Tabela 01: homogeneização a alta pressão (50 e 100 MPa), pasteurização (90 °C/1 min), tratamento por a alta pressão hidrostática (400 MPa e 500 MPa/5 min.), sendo as amostras resultantes encaminhadas para a realização das análises, além do controle, sem ter passado por nenhum

tratamento de conservação. Essas amostras foram armazenadas de imediato a $4 \pm 2^\circ\text{C}$ em câmara fria e posteriormente em câmara de congelamento a -14°C , para serem posteriormente executadas as análises físico-químicas, de estabilidade física, a quantificação dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante dos sucos. As amostras utilizadas para as análises microbiológicas e a caracterização reológica não foram submetidas ao congelamento. Estas análises foram efetivadas com as amostras em temperatura de refrigeração a $4 \pm 2^\circ\text{C}$ (sem a condição/processo de congelamento), logo após a processamento, para que não houvesse interferência nos resultados, por se tratarem de análises mais susceptíveis às condições ambientais. O suco misto de frutas tropicais foi apenas analisado pós processamento (tempo 0).

Tabela 01: Codificação de amostras do suco misto de frutas tropicais em relação aos tratamentos de conservação realizados no estudo.

Amostra	Tratamento
Controle	Sem tratamento
Pasteurizada	Pasteurização $90^\circ\text{C}/1\text{ min}$
HAP 50 MPa	Homogeneização a alta pressão a 50 MPa
HAP 100 MPa	Homogeneização a alta pressão a 100 MPa
APH 400 MPa/5 min	Alta pressão hidrostática a 400 MPa/5 min
APH 500 MPa/5 min	Alta pressão hidrostática a 500 MPa/5 min

HAP = homogeneização a alta pressão; **APH** = alta pressão hidrostática.

3.4 Homogeneização a Alta Pressão

A homogeneização a alta pressão do suco misto de frutas tropicais foi realizada em equipamento situado na Embrapa Agroindústria de Alimentos Rio de Janeiro – RJ. O equipamento utilizado no processo foi um homogeneizador a alta pressão Modelo APL (marca IBH: Indústria Brasileira de Homogeneizadores – Artepeças Ltda.), com pressão máxima nominal de 100 MPa e vazão de 100 L/h, conforme apresentado na Figura 04.

As condições de pressão analisadas de processo foram de 50 e 100 MPa, sem recirculação. Ao finalizar a passagem pelo homogeneizador, o suco misto de frutas foi envasado em garrafas plásticas estéreis sendo, em seguida, mantido em câmara de resfriamento a 4°C ou de congelamento a -14°C para a realização de análises posteriores, conforme realização imediata ou mais tardia das análises. A temperatura inicial do processamento do suco misto por homogeneização a Alta Pressão foi considerada como a ambiental (20°C a 25°C), não tendo sido aferida a temperatura final. A temperatura final do suco misto pode ter sofrido elevação devido ao aquecimento gerado durante o processo, à saída do homogeneizador a alta pressão.



Figura 04 - Homogeneizador a alta pressão.
Fonte: Própria Autora, 2021.

3.5 Processamento por Alta Pressão Hidrostática

Para o processamento a alta pressão hidrostática, utilizou-se pressões de 400 e 500 MPa por 5 minutos em cada condição, conforme definido por Martins (2019), empregando-se equipamento Stansted Fluid Power (S-FL-850-09-W, Inglaterra) (Figura 05), com capacidade nominal de 250 ml e pressão nominal máxima de operação de 900 MPa. O suco foi envasado em embalagens de polietileno (40 mL), seladas a vácuo previamente à pressurização. A temperatura inicial do processamento das amostras submetidas a 400 MPa/5 min variou de 22,4°C a 25,3°C, enquanto as amostras pressurizadas a 500 MPa/5 min, tiveram variações de 23,4°C a 26,1°C. A temperatura registrado a pressão de 400 MPa/5 min variou de 36,1°C a 37,3°C e, a 500 MPa/5 min, variou de 37,5°C a 41,4°C. Já a temperatura final do processo de APH nas amostras 400 MPa/5 min, após a decompressão, variou de 6,9°C a 12,6°C e das amostras submetidas a 500 MPa/5 min, entre 3,9°C a 8°C. Após o processamento, as amostras foram armazenadas sob resfriamento a $4 \pm 2^\circ\text{C}$ para as análises microbiológicas e reológicas, e em câmara de congelamento a -14°C até a realização das demais análises.



Figura 05 - Equipamento de alta pressão hidrostática - Stansted Fluid Power.
Fonte: Própria Autora, 2021.

3.6 Comparação dos Processamentos

A realização dos processos aplicados ao suco misto de frutas tropicais neste estudo, destinados à comparação dos efeitos sobre a qualidade e estabilidade do produto, foi procedida conforme o diagrama de blocos apresentado na figura 06.

Diagrama de blocos do processamento do suco misto de frutas tropicais

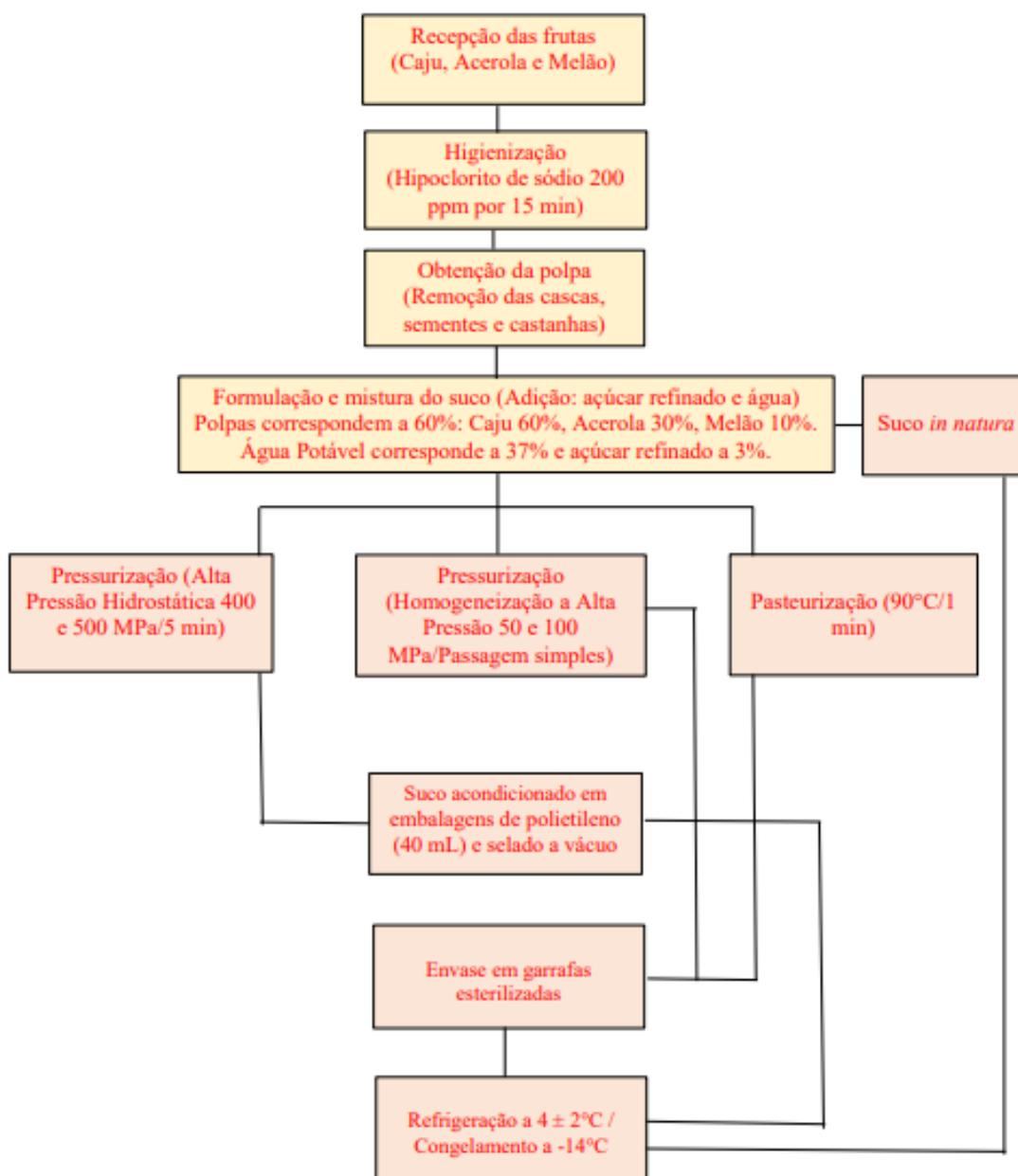


Figura 06 – Diagrama de blocos do processamento do suco misto de frutas tropicais por diferentes processos de conservação.

Fonte: Própria Autora, 2021.

O suco foi pasteurizado termicamente a 90 °C/1 min em Thermomix™ (Vorwerk, Brasil) (Figura 07), de acordo com SOUZA et al. (2014), sendo, imediatamente após o processamento, resfriado e envasado assepticamente em garrafas de polietileno previamente higienizadas.



Figura 07 - Thermomix™ (Vorwerk, Brasil).
Fonte: Própria Autora, 2021.

3.7 Caracterização microbiológica

3.7.1 Procedimento CIP (*clean-in-place*) e envase asséptico para a análise microbiológica

Para garantir a sanidade no produto a ser passado no homogeneizador a alta pressão e prevenir contaminações microbianas nas amostras de suco, foi efetuada a CIP (*clean-in-place*) do equipamento. Realizou-se o CIP de três formas distintas, visando a avaliação da efetividade dos procedimentos, conforme segue: 1) passagem de hidróxido de sódio 5% m/m; passagem de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 5% m/m seguida de solução 200 ppm de hipoclorito de sódio; passagem de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 5% m/m e solução 200 ppm de hipoclorito de sódio combinado com envase em região de chama, para prover uma área de certa assepsia. A eficiência do CIP feito foi analisada comparando os resultados microbiológicos obtidos após o CIP com os resultados microbiológicos da amostra controle (*in natura*). O procedimento do CIP seguiu as instruções do fabricante do equipamento de homogeneização a alta pressão (IBH – Arte Peças Ltda.).

3.7.2 Análises Microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas a partir da Instrução Normativa N° 161, de 01 de julho de 2022, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que estipula os padrões microbiológicos sanitários para alimentos (BRASIL, 2001). A contagem de fungos filamentosos e

leveduras, a determinação de bactérias aeróbias mesófilas e de Salmonella, foram realizadas conforme estabelecido por APHA (2001).

3.8 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas seguindo a metodologia de AOAC (2010). Nas amostras de suco misto de frutas tropicais, foi determinado o pH, a acidez titulável e o teor de sólidos solúveis (°Brix), conforme a Instrução Normativa Nº 12, de 4 de setembro de 2003 (BRASIL, 2003). A medição do pH do suco foi realizada utilizando um medidor de pH acoplado ao titulador automático para a determinação da acidez. A determinação da acidez total foi realizada com titulador automático, modelo 785 DMP Titrino, Metrohm, Suíça (Figura 08). E o teor de sólidos solúveis (°Brix) foi obtido a partir do refratômetro digital portátil (Atago®, modelo Pal-3 Co, Ltda., EUA), apresentado na Figura 09.



Figura 08 - Titulador automático, modelo 785 DMP Titrino, Metrohm, Suíça.
Fonte: Própria Autora, 2021.



Figura 09 - Refratômetro digital portátil (Atago®, modelo Pal-3 Co, Ltda., EUA).
Fonte: Própria Autora, 2021.

3.9 Determinações dos Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante

3.9.1 Vitamina C

A análise do teor de Vitamina C no suco misto de frutas tropicais, foi realizada por cromatografia líquida por coluna de troca iônica, seguindo a metodologia de Rosa et al. (2007). Nesta análise, utilizou-se o cromatógrafo Waters Alliance 2695 (Milford, EUA). A extração foi feita 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.

3.9.2 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). O extrato bruto foi produzido com solução de acetona 70% por 30 minutos. As leituras de absorvância da reação do extrato com o reagente de Folin-Ciocalteu foram executadas em espectrofotômetro UV-1800 a 760 nm (Shimadzu®, Kyoto, Japão). Os resultados foram apresentados em mg equivalentes de ácido gálico/100g de amostra (mg EAG/100g), a partir de curva de calibração obtida.

3.9.3 Capacidade antioxidante

A determinação da capacidade antioxidante dos sucos foi realizada através do método ABTS⁺ e teve resultados apresentados em Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC). A obtenção dos extratos foi efetuada conforme metodologia descrita por Rufino et al. (2007). Posteriormente à extração, realizou-se a reação de uma alíquota com radical ABTS⁺. As leituras foram feitas em um 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 através da metodologia de Re et al. (1999) e expressos como TEAC (Total Equivalent Antioxidant Capacity) em µmol Trolox Equivalente/g, com base na curva de calibração obtida.

3.10 Estabilidade Física no Processamento do Suco Misto de Frutas Tropicais

A estabilidade física das amostras do suco misto tropical submetidas aos diferentes tratamentos (homogeneização a alta pressão, alta pressão hidrostática, pasteurização térmica e

amostra controle não tratada) foi avaliada com base nas seguintes determinações: distribuição do tamanho de partículas (DTP), microscopia óptica, sedimentação da polpa e análise instrumental de cor, relacionando-se com ao longo de armazenamento refrigerado após o processamento, conforme descrito a seguir.

3.10.1 Distribuição de tamanho de partícula

A análise de distribuição do tamanho de partículas das amostras do suco misto de frutas tropicais foi realizada através de um difratômetro a laser. Para a realização dos cálculos, o diâmetro médio é obtido com base no volume $D[4,3]$ (Eq. 1) e na área, a partir do diâmetro médio da superfície $D[3,2]$ (Eq. 2). Ambos os diâmetros equivalentes foram analisados, já que $D[4,3]$ é muito influenciado por partículas grandes, enquanto $[3,2]$ é mais influenciado por partículas pequenas (KUBO et al., 2013).

$$D[4,3] = \frac{\sum_i n_i d_i^4}{\sum_i n_i d_i^3}$$
$$D[3,2] = \frac{\sum_i n_i d_i^3}{\sum_i n_i d_i^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

3.10.2 Microestrutura óptica

Para a análise de microestrutura óptica, utilizou-se um microscópio Leitz Laborlux (Leitz-Wetzlar, Alemanha) com ampliação das imagens de 40x e com o auxílio de uma câmera acoplada ao microscópio, para melhor visualização das micrografias. Em uma lâmina de microscópio, adicionou-se o volume de 50 μL e, logo após, cobriu-se a amostra depositada com uma lamínula.

3.10.3 Sedimentação da polpa

Para a análise de sedimentação da polpa do suco misto de frutas, utilizou-se tubos de centrífuga estéreis graduados de 50 mL, para avaliação da altura do sedimento, medidos ao longo de três dias e em intervalos regulares de 10 min no primeiro e segundo dia, e de 30 min no terceiro dia. O período de análise em cada dia ocorreu das 09:00 hrs às 15:30 (horário de Brasília). As amostras

permaneceram em câmara de refrigeração ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) durante o tempo todo de análise. Utilizou-se um paquímetro digital para a medição (expressa em mm) da altura inicial da amostra e para o sedimento decantado ao longo da análise. O índice de sedimentação é determinado por Saricaoglu et al. (2019), segundo a equação 3.

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

O índice de sedimentação (IS) é o que determina o nível de sedimentação da polpa em relação ao volume total de suco.

3.10.4 Análise Instrumental de cor

Para a análise instrumental de cor do suco de frutas misto tropical, foi utilizado um colorímetro Color Quest XE, com escala CIELAB e CIELCh, com abertura de 0,375 mm de diâmetro, iluminante D65/10 conforme descrito por Sánchez-Moreno, Plaza, de Ancos e Cano (2006) e Rodrigo, van Loey e Hendrickx (2007). Os parâmetros analisados 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 (Eq. 4) e a variação total de cor (ΔE), que é calculado através da equação 5.

$$h^\circ = \text{arc tg} \frac{b^*}{a^*} \quad (\text{Eq. 4})$$

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

3.11 Comportamento Reológico

Para caracterizar o comportamento reológico do suco misto de frutas após os processamentos, utilizou-se o reômetro da marca ARES G2 (Figura 10). Foi analisada a Viscosidade vs. Taxa de cisalhamento na faixa de 0,01-100.0 1/s, utilizando-se configuração geométrica de cilindros concêntricos (“concentric cylinders”, copo-cilíndrico, dimensões do cilindro: diâmetro 27,671 mm, altura 41,572 mm) conforme apresentado na Figura 11, temperatura de 25°C , gap de 5,84 mm, sendo todas as amostras analisadas em triplicata.

As análises foram realizadas no Laboratório de Termoanálises e Reologia – LABTeR, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), RJ.



Figura 10 - Reômetro ARES G2.
Fonte: Própria Autora, 2021.



Figura 11 - Geometria Concentric Cylinders.
Fonte: Própria Autora, 2021.

3.12 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do Software Statistica versão 8.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA), com o intuito de verificar a existência de diferenças significativas entre as amostras através da análise de variância (ANOVA). O teste de Tukey e o teste de Dunnett foram utilizados para averiguar a existência de diferenças entre as médias correspondentes aos tratamentos considerando $p < 0,05$.

4. Resultados e Discussões

4.1 Análises Microbiológicas

Para analisar os resultados obtidos no estudo microbiológico do suco misto de frutas tropicais, utilizaram-se valores de referência definidos de acordo com a Instrução Normativa N° 01, de 07 de janeiro de 2000, do Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária, em que se estabelecem os níveis de fungos filamentosos e leveduras em 2×10^3 UFC/mL. A Instrução Normativa N° 161, de 01 de julho de 2022, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária Resolução, não determina parâmetros para a presença de fungos filamentosos, leveduras e para a contagem de bactérias aeróbias mesófilas em sucos de frutas, apesar desses microrganismos já serem considerados referências de más condições higiênico-sanitárias nos produtos alimentícios.

Todas as amostras foram analisadas para a presença de Fungos filamentosos e leveduras (UFC/mL), Bactérias aeróbias mesófilas (UFC/ml) e *Salmonella* spp. (ausência em 25g) no tempo zero (dia 0) de processamento.

Tabela 02 – Análises microbiológicas do suco misto de frutas tropicais submetido em todos os processamentos.

Análises Microbiológicas			
Análises			
Tratamentos	Fungos filamentosos e leveduras (UFC/mL)	Bactérias aeróbias mesófilas (UFC/mL)	<i>Salmonella</i> spp. (ausência em 25g)
Controle	1,5 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁴	Ausente
Pasteurizado	<1,0 x 10 ¹	2,2 x 10 ³	Ausente
HAP 50 MPa	1,4 x 10 ⁵	7,6 x 10 ⁴	Ausente
HAP 100 MPa	1,0 x 10 ⁵	4,6 x 10 ⁴	Ausente
APH 400 MPa/5 min	<1,0 x 10 ¹	8,0 x 10 ³	Ausente
APH 500 MPa/5 min	<1,0 x 10 ¹	6,1 x 10 ³	Ausente

Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (homogeneizada a alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (homogeneizada a alta pressão a 100 MPa); APH 400 MPa/5 min (submetida à alta pressão hidrostática a 400 MPa por 5 minutos); APH 500 MPa/5 min (submetida à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 5 minutos).

Valores de Referência:

Fungos filamentosos e leveduras (UFC/mL): 2,0x10³

***Salmonella* spp. (ausência em 25g):** Ausente

Limites estabelecidos de acordo com a IN N°161 (BRASIL, 2022) NMP: número mais provável.

Diante dos resultados obtidos, as amostras pasteurizadas e submetidas a alta pressão hidrostática (APH 400 MPa/5 min e APH 500 MPa/5 min), estavam adequadas para consumo em relação a presença de fungos filamentosos e leveduras, apresentando valores inferiores ao determinado pela legislação vigente e a ausência de *Salmonella* spp. em 25 g como definido pela legislação. Para bactérias aeróbias mesófilas, apesar de não terem valores de referências definidos pela legislação, considera-se que as amostras estavam apresentando desenvolvimento significativo. A amostra Controle (sem tratamento), obteve resultado negativo para a presença de *Salmonella* spp. em 25 g, mas em relação a existência de fungos filamentosos e leveduras e bactérias aeróbias mesófilas, constata-se que a amostra não estava de acordo com os valores de referência, apresentando crescimento significativo.

As amostras homogeneizadas à alta pressão (HAP 50 MPa e HAP 100 MPa) apresentaram resultado de ausência de *Salmonella* spp. em 25 g, porém para ambas as amostras, foram obtidos valores superiores ao permitido pela legislação na existência de fungos filamentosos e leveduras e bactérias aeróbias mesófilas. Este resultado demonstra que houve contaminação efetiva do suco

misto de frutas tropicais ao envasá-lo, devido a falta de um sistema asséptico para que houvesse um envase seguro. As condições do homogeneizador também contribuíram para os resultados obtidos, uma vez que não possuía um trocador de calor acoplado ao equipamento, o que gerou aquecimento no processamento. Este ocorrido promoveu danos celulares ao suco misto, devido ao aquecimento. Além deste fator, seria necessária uma área de assepsia posterior ao processo de homogeneização a alta pressão, não permitindo uma recontaminação.

Esta possível contaminação não ocorreu na amostra pasteurizada, visto que houve envase asséptico logo após o processamento do suco. E o mesmo não ocorreu com as amostras que foram submetidas a alta pressão hidrostática, devido serem pré envasadas à vácuo antes do processamento, o que assegurou eventual contaminação. De acordo com Oliveira et al. (2006), as condições higiênico-sanitárias inadequadas durante o processo de fabricação de sucos, são os principais indícios que comprometem a segurança microbiológica do produto. No estudo realizado por Silveira et al. (2022), as cinco amostras analisadas na pesquisa de sucos de laranja *in natura* apresentaram algum grau de contaminação. Em bolores e leveduras a contagem nas amostras variou de $4,25 \times 10^1$ a $1,70 \times 10^3$ UFC/mL.

As leveduras são consideradas organismos de alto potencial de deterioração em produtos ácidos (HOFFMANN, F. L. et al., 2001), sendo a causa mais comum de deterioração em sucos de frutas (SANTOS, J.; RIBEIRO, G. A, 2006). Leveduras possuem elevada tolerância em meio ácido, possuem capacidade de se desenvolverem anaerobicamente e apresentam também maior resistência térmica em relação às bactérias e à maioria dos bolores (CORREA-NETO, R. S.; FARIA, J. A. F, 1999), o que as tornam capazes de degradar sucos e produtos acidificados. Santos & Ribeiro (2006) apontam que a presença em excesso de bolores e leveduras, é indicativo de manipulação inadequada, conforme anteriormente considerado, em que pode ter havido falhas na limpeza/sanitização das frutas e/ou manuseio realizado em condições não adequadas.

Outro estudo realizado por Oliveira et al. (2006) em suco de laranja *in natura*, apresentou contagens de bactérias aeróbias mesófilas em níveis de 10^6 UFC/mL, enquanto o suco de laranja processado com condições higiênico-sanitárias adequadas obteve contagens por volta de 10^4 UFC/mL. Estas altas contagens indicam falhas nas condições higiênico- sanitárias durante a produção e armazenamento dos produtos alimentícios.

Na pesquisa de Lima et al. (2020), logo após o processamento de suco misto de frutas tropicais análogo ao do presente estudo, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos dos sucos homogeneizados a alta pressão a 50 MPa e 100 MPa, comparando-os com o suco *in natura* (controle) em relação aos efeitos do processamento. Foi observado nesse estudo que houve uma leve redução

na contagem de fungos filamentosos e leveduras e bactérias aeróbias mesófilas (ao longo da vida útil do suco), quando comparado com o suco sem tratamento. Este fato não ocorreu no presente estudo, devido a possíveis falhas na produção ou no envase do suco, ocasionando uma maior contagem de fungos filamentosos e leveduras e bactérias aeróbias mesófilas em ambas amostras homogêneas a alta pressão (50 MPa e 100 MPa) quando comparadas à amostra controle (Tabela 02).

Outro fator a se considerar são os níveis de pressões aplicados nas amostras, que foram insuficientes para a inativação dos micro-organismos presentes. Estudos de Suarez-Jacobo et al. (2010), realizado com suco de maçã homogêneo a alta pressão a 100 MPa e armazenado a 4 °C por 60 dias, verificou que o suco tratado por HAP obteve maior desenvolvimento de bactérias aeróbias mesófilas em $1,5 \times 10^6$ UFC/mL no 15º dia de armazenamento quando comparado com o suco sem tratamento. Este fato demonstrou que a pressão a 100 MPa não foi eficiente para a destruição de micro-organismos, mas afetou a sua adaptação ao meio (fase lag) devido a injúrias causadas pelo processamento.

A fase lag do crescimento microbiano é definida pela adaptação do microrganismo ao meio, conhecida como uma fase que produz energia para o crescimento. No decorrer desta fase, há a possibilidade ou não de divisão celular e síntese de novas enzimas, que podem ser necessárias para que ocorra a síntese de compostos essenciais ao desenvolvimento microbiano. Esta duração da fase lag necessitará das condições do meio e dos microrganismos. Desta forma, pode-se constatar que a resistência microbiana à HAP em pressões inferiores a 100 MPa ocorre devido fragmentos de células e de membranas de microrganismos destruídos pela HAP, que se tornam uma espécie de suporte para a sobrevivência dos microrganismos, o que dificulta sua inativação pelo processo de HAP (PEREDA et al., 2007; GUAN et al., 2016).

A inativação microbiana no processamento de homogeneização a alta pressão, ocorre devido a destruição mecânica da integridade celular causada por diversos mecanismos como gradiente de pressão e velocidade, tensão de cisalhamento, turbulência e cavitação durante o processo de HAP. A temperatura também possui um papel de grande importância na inativação, visto que atua modificando as propriedades físicas da membrana celular dos microrganismos, tornando-a menos resistente a alta pressão. Bactérias gram-positivas são mais resistentes a HAP do que as gram-negativas, em razão da camada espessa de peptidoglicano. A diferença na estrutura da parede celular torna as leveduras seres de mais fácil inativação (BEVILACQUA et al., 2009; CORBO et al., 2010; GUAN et al., 2016).

A pressão empregada e a temperatura de entrada da amostra em um homogeneizador a alta pressão são fatores determinantes para que se alcance a inativação microbiana nos sucos de frutas,

considerando também as propriedades do sistema específicos de cada equipamento. Pereda et al. (2007) ressalta que a pressão utilizada para a inativação de microrganismos depende do tipo de sistema de homogeneização que se irá utilizar, levando em conta o tipo de válvula e os efeitos que serão gerados de cisalhamento e escoamento do equipamento.

O efeito da pressão sobre os microrganismos depende de fatores relacionados com os microrganismos propriamente ditos (espécie, formato, Gram, fase de crescimento e idade da cultura), com a natureza do meio (pH, composição do alimento ou meio de dispersão, presença de sais e/ou nutrientes, atividade de água, força iônica e tipos de íons presentes) e com as variáveis do processo de alta pressão (níveis de pressão, tempo e temperatura e tipo do tratamento – contínuo ou descontínuo) (LÓPEZ-CABALLERO et al., 2002a; SAN MARTÍN et al., 2002; HUGAS et al. 2002, HALL et al., 2002).

O possível fator que limitou a inativação microbiana no suco misto de frutas tropicais pela homogeneização a alta pressão pode estar relacionado à pressão utilizada no tratamento, que pode não ter sido adequada. Pressões muito baixas podem não ser eficazes, conforme Velázquez-Estrada et al. (2012) demonstraram em suco de laranja homogeneizado a 100 MPa, cujas contagens microbianas (bactérias aeróbicas mesófilas, bactérias aeróbicas psicrófilas, bactérias lácticas e leveduras) não diferiram significativamente do suco de laranja *in natura* (sem tratamento). Outra alternativa para a inativação dos micro-organismos, mesmo com o aumento das pressões utilizadas na HAP, seria acrescentar uma segunda forma de processamento no suco misto, complementando a Homogeneização a Alta Pressão.

No entanto, quando se utiliza pressões maiores, como 200 ou 300 MPa, a HAP foi eficaz em todos os grupos de bactérias presentes, reduzindo até 4 logs, não havendo diferenças significativas em relação ao suco de laranja pasteurizado. Vários estudos avaliaram o potencial dos tratamentos de homogeneização a alta pressão (entre 200 e 300 MPa) na inativação da microflora patogênica e deteriorante como alternativa aos tratamentos térmicos, para prolongar a vida útil do suco. A aplicação de tratamentos HAP ao suco de laranja (300 MPa em um sistema de homogeneização de dois estágios) diminuiu significativamente *Escherichia coli* (Brinez et al., 2006a), *Listeria innocua* (Brinez et al., 2006b) e *Staphylococcus carnosus* (Brinez et al., 2007), aumentando a vida útil dos produtos por várias semanas.

Alguns autores reportaram que tiveram inativação efetiva de bactérias aeróbias mesófilas e de fungos e leveduras, empregando pressões entre 200 e 300 MPa, com temperaturas variáveis entre 65 a 75°C. Já para a inativação de esporos o processo apresenta maior dificuldade, visto a grande resistência dos mesmos à pressão e temperatura, sendo geralmente destruídos em pressões de 250

MPa a 300 MPa (SUÁREZ- JACOBO et al., 2010; POLISELI-SCOPEL et al., 2012; VELÁZQUEZ-ESTRADA et al., 2012). Como exemplo, no estudo de Pereda et al. (2007) encontram-se esporos vivos em leite após tratamentos a 300 MPa.

4.2 Características Físico-químicas

A tabela 03 apresenta os resultados de pH, acidez titulável e sólidos solúveis totais (°Brix) das amostras de suco misto de frutas tropicais.

Tabela 03 – Caracterização físico-química do suco misto de frutas tropicais submetido em todos os processamentos.

Caracterização Físico-química			
Análises			
Tratamentos	pH	Acidez (g Ácido Cítrico/100g)	Sólidos Solúveis Totais (°Brix)
Controle	3.46 ± 0.03	4.63 ± 0.473	7.633 ± 0.058
Pasteurizado	3.54 ± 0.01	4.637 ± 0.111	7.833 ± 0.058
HAP 50 MPa	3.79 ± 0.01 ^{Aa αβ}	4.07 ± 0.164 ^{Aa αβ}	7.133 ± 0.058 ^{Ab αβ}
HAP 100 MPa	3.82 ± 0.026 ^{Aa αβ}	3.703 ± 0.045 ^{Bb αβ}	6.767 ± 0.058 ^{Ba αβ}
APH 400 MPa/5 min	3.53 ± 0.02 ^{Abα}	3.937 ± 0.04 ^{Ba αβ}	7.633 ± 0.058 ^{Aa β}
APH 500 MPa/5 min	3.527 ± 0.015 ^{Abα}	4.087 ± 0.038 ^{Aa αβ}	6.767 ± 0.058 ^{Ba αβ}

Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (homogeneizada a alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (homogeneizada a alta pressão a 100 MPa); APH 400 MPa/5 min (submetida à alta pressão hidrostática a 400 MPa por 5 minutos); APH 500 MPa/5 min (submetida à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 5 minutos).

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre os níveis de severidade dentro da mesma tecnologia pelo teste de Tukey (p<0,05). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre as tecnologias para o mesmo nível de severidade, pelo teste de Tukey (p<0,05).

^α Médias seguidas de alfa diferem significativamente do controle pelo teste *Dunnet* (p<0,05); ^β Médias seguidas de beta diferem significativamente do pasteurizado pelo teste *Dunnet* (p<0,05).

4.2.1 pH

Vários fatores tornam importante a determinação do pH de um alimento, tais como: influência na palatabilidade, desenvolvimento de micro-organismos, escolha da temperatura de esterilização, escolha do tipo de material de limpeza e desinfecção, escolha do equipamento com o qual se vai trabalhar na indústria, escolha de aditivos e vários outros (CHAVES et al., 1993). 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).

Diante dos resultados obtidos, pode-se observar que não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de pH entre os sucos submetidos a alta pressão hidrostática nas condições de 400 MPa/5 min e 500 MPa/5 min, bem como entre os sucos homogeneizados a alta pressão em 50 MPa e 100 MPa. Houve diferença significativa entre as amostras HAP 50 MPa e APH 400 MPa/5 min e entre as amostras HAP 100 MPa e APH 500 MPa/5 min ($p \leq 0,05$). Em relação à amostra controle (sem tratamento), todas as amostras submetidas as tecnologias HAP E APH apresentaram diferenças significativas e, quanto a amostra pasteurizada, somente as amostras homogeneizadas a alta pressão em 50 e 100 MPa tiveram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) nos valores de pH. Os valores de pH nos sucos após o processamento variaram entre 3,46 a 3,82, sendo o maior valor de pH encontrado para o suco homogeneizado à alta pressão a 100 MPa e o menor valor apresentado pelo suco controle (*in natura*).

A partir dos resultados, constatou-se que houve um leve aumento no pH do suco pasteurizado em relação ao suco não tratado (controle). Em contrapartida, Wang et al. (2006) encontraram redução de pH em suco de cenoura submetido a pasteurização. Outras pesquisas demonstraram que o aumento gradativo na temperatura dos sucos ocasionou reações secundárias, como a reação de Maillard, sendo esse fato atribuído à redução de pH na formação de hidroximetilfurfural (HMF), substância que resulta entre a reação de aminoácidos e açúcares redutores (WANG et al., 2006).

A pasteurização é um processo que comumente não impede a ação de certas enzimas presentes no suco, como a polimetilpectiesterase, gerando reações de hidrólise da pectina com a elevação da temperatura, liberando ácido galacturônico, o que promove a redução do pH. Em relação ao suco misto de frutas tropicais este fato não foi a princípio observado, considerando que o pH apresentado pelo suco controle e pasteurizado se assemelham, o que pode ser atribuído pelo teor reduzido dessa enzima nas frutas componentes do suco.

As amostras que foram submetidas a alta pressão hidrostática (400 e 500 MPa/5 min), diferiram significativamente do tratamento controle (amostra *in natura*) ($p \leq 0,05$), apresentando pH semelhantes, porém pouco acima ao verificado na amostra controle. Esta equivalência nos resultados deve-se possivelmente ao fato da pressão aplicada no processo de APH afetar o equilíbrio de ionização da solução aquosa. À medida que a pressão aumenta, a reação de ionização do ácido fraco continua na direção da formação de H^+ , acarretando na diminuição do pH. A pressão também influencia o aumento na liberação de ácidos orgânicos do tecido, fazendo que o teor de ácido do suco

aumento (BALASUBRAMANIAM et al., 2015; PEI et al., 2018). No presente estudo não houve diminuição do pH, tendo se mantido semelhante ao valor da amostra controle. Outros estudos reportaram resultados equivalentes, em que sucos de frutas não apresentaram alterações no pH quando submetidos a APH (JIMENEZ et al., 2015; KOUTCHMA et al., 2016).

A amostra referente ao suco homogeneizado a alta pressão (50 e 100 MPa) apresentou um pequeno aumento no pH, respectivamente 3,79 e 3,82. Isto pode decorrer do processamento de homogeneização a alta pressão em que, quando o suco é submetido a pressurização por uma válvula estreita, há a ruptura dos tecidos presentes, o que libera componentes do tecido (como ácidos orgânicos), afetando o pH. Salienta-se que, no presente estudo, houve aumento do pH de todas as amostras analisadas (HAP, APH e pasteurizada) em relação à amostra controle (sem tratamento). Este pequeno aumento no pH das amostras homogeneizadas pode também estar relacionado a contaminação no momento do envase do suco. Pela falta do sistema asséptico incorporado ao homogeneizador, as amostras possivelmente apresentaram contaminação e ocasionando aumento do pH decorrente metabolismo microbológico nos sucos.

Lima et al. (2020) obtiveram dados semelhantes em sua pesquisa no mesmo suco, em que 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. Autores como Pinheiro et al. (2006) obtiveram valores de pH variando de 3,17 a 4,06 para o suco de caju e Fernandes et al. (2015) que demonstraram valores de pH variando de 3,18 a 3,40 em sucos de acerola pasteurizados.

4.2.2 Acidez Titulável

Observou-se diferenças significativas ($p \leq 0,05$) na acidez titulável entre os tratamentos realizados no suco (tabela 03). Após os processamentos, as amostras de sucos apresentaram acidez (g ácido cítrico/100g) entre 3,70 a 4,63 %, sendo o menor valor para a amostra homogeneizada a alta pressão à 100 MPa e o maior para a amostra controle (sem tratamento).

Os resultados de Acidez (tabela 04) apresentaram diferenças significativas entre as amostras homogeneizadas a alta pressão (HAP 50 e 100 MPa), bem como nas amostras submetidas a alta pressão hidrostática a 400 e 500 MPa/5 min, que diferiram estatisticamente ($p \leq 0,05$). Os resultados do teste de Tukey também demonstraram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras HAP 100 MPa e APH 500 MPa/5 min. E a partir do teste de Dunnett, observou-se que em relação a acidez, todos os tratamentos estudados diferiram significativamente dos tratamentos controle e do pasteurizado ao nível de 5% de significância.

Diante dos resultados da análise de acidez, pode-se observar que as amostras estavam com um nível de acidez um pouco mais alto que o padrão. Na literatura não há dados que correspondem a acidez para suco composto por caju, acerola e melão, porém há dados dispostos por demais autores para sucos de frutas compostos por cada uma. No estudo de Chaves et al. (2004) relataram que o suco de acerola analisado possui teor de acidez titulável de 1,44 % (em ácido cítrico). Outros autores como Figueirêdo et al. (2001), Matsuura et al. (2001), Nogueira et al. (2002) apresentaram resultados de acidez em sucos de acerola e, respectivamente, 1,07%, 0,89% e 1,24%. Pinheiro et al (2006), em trabalho sobre suco de frutas integrais, encontraram para suco de caju valores de acidez variando de 0,45 e 1,26 %.

Lima (2020), analisando a mesma formulação do suco misto de frutas tropicais do presente estudo, obteve acidez entre de 2,65 a 3,70 g ácido cítrico/100g logo após o processamento por alta pressão hidrostática, homogeneização a alta pressão e pasteurização. A autora também observou que, ao longo do armazenamento, as amostras tiveram um aumento na acidez, o que demonstrou possível sinal de deterioração microbiológica do produto.

O aumento da acidez em alimentos pode ser um indicador da presença de micro-organismos deteriorantes. Vergara et al. (2014) ponderou que o aumento da acidez em sucos armazenados (especialmente por presença de ácido acético e lático) é um indicador de contaminação por leveduras e/ou bactérias. A partir dos resultados das análises microbiológicas do suco misto de frutas tropicais neste estudo, pode-se associar que a acidez inicial um pouco mais elevada nas amostras homogeneizadas se relaciona a contaminação microbiana. Esta intercorrência possivelmente decorreu da contaminação no momento do envase do suco, pelas limitações do sistema asséptico conectado ao equipamento (homogeneizador).

4.2.3 Teor de Sólidos Solúveis (°Brix)

De acordo com os resultados obtidos na análise de sólidos solúveis totais (tabela 03), os valores encontrados variaram de 6,76 °Brix (HAP 100 MPa e APH MPa 500/5 min) a 7,83 °Brix (pasteurizado). As amostras HAP 50 MPa e HAP 100 MPa apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) em relação ao teor de sólidos solúveis, assim como ambas as amostras do tratamento de APH, que também se diferenciam significativamente. Todas as médias das das amostras de suco misto de frutas tropicais oriundas do processamento pelas tecnologias de HAP e APH diferiram da amostra pasteurizada ($p \leq 0,05$). E somente a amostra APH 400 MPa/5 min não obteve diferença significativa em relação à amostra controle, sendo que as demais submetidas a APH e HAP diferiram significativamente ao nível de 5% de significância. Pode-se observar que com o aumento das

pressões aplicadas em ambos os processos (HAP e APH), houve redução do teor de sólidos solúveis totais (SST) presentes. Estas amostras, quando comparadas com a controle (sem tratamento), também obtiveram redução de Brix.

Kohatsu et al. (2011), relatam que a diminuição de SST pode estar relacionada a alimentos que sofreram contaminação microbiana, devido aos microrganismos utilizarem os açúcares como substrato. Em meios ácidos, como o suco misto de frutas tropicais, microrganismos como leveduras, que são potenciais agente de deterioração e são capazes de se desenvolver em condições de anaerobiose, utilizam do carboidrato como substrato e tem produtos finais como o CO₂ e o etanol. Sua presença em produtos alimentícios faz com que possa haver alterações no pH, propiciando uma condição favorável para o crescimento de demais microrganismos deteriorantes (HOFFMANN et al., 1998).

Os sólidos solúveis totais (°Brix) são usados como índice de maturação para alguns frutos, e indicam a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidos no suco, sendo constituído na sua maioria por açúcares (CHAVES et al., 2004). É utilizado como controle da qualidade do produto final, controle de processos, ingredientes entre outros (ALVES et al., 1996). Chaves et al. (2004) reportaram 6,57 no teor de sólidos solúveis (°Brix), em suco de acerola, valor que pouco diferenciou dos obtidos por Matsuura et al. (2001) que foi 7,20, em frutos de acerola. Em contrapartida, Figueirêdo et al. (2001) e Nogueira (1999) obtiveram valores inferiores de °Brix de 5,5 e 5,10, respectivamente para frutos de acerola, valores inferiores ao obtido em outros estudos e na presente pesquisa com o suco misto, decorrente da adição de outros sucos com teores superiores de sólidos solúveis ou de frutas com maior grau de maturação.

4.3 Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante

A tabela 04 abaixo apresenta os resultados do teor de vitamina C, compostos fenólicos e a capacidade antioxidante das amostras do suco misto de frutas tropicais.

Determinação dos compostos bioativos e capacidade antioxidante

Tratamentos	Análises		
	Vitamina C (mg/100g)	Compostos fenólicos totais (mg EAG/100g)	Valores TEAC ABTS ⁺ (μmol Trolox/g)
Controle	174.23 ± 14.69	325.357 ± 6.674	13.15 ± 1.211
Pasteurizado	212.29 ± 0.11	321.38 ± 8.245	14.603 ± 0.886
HAP 50 MPa	159.18 ± 4.43 ^{Ab β}	274.98 ± 0 ^{Aa αβ}	12.323 ± 1.128 ^{Aa β}
HAP 100 MPa	124.443 ± 7.015 ^{Bb αβ}	268.53 ± 0 ^{Bb αβ}	11.007 ± 0.821 ^{Aa αβ}
APH 400 MPa/5 min	211.643 ± 4.425 ^{Ba α}	265.3 ± 0 ^{Bb αβ}	12.703 ± 0.374 ^{Aa β}
APH 500 MPa/5 min	230.06 ± 1.69 ^{Aa αβ}	278.05 ± 0 ^{Aa αβ}	11.347 ± 0.442 ^{Ba β}

Tabela 04- Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (homogeneizada a alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (homogeneizada a alta pressão a 100 MPa); APH 400 MPa/5 min (submetida à alta pressão hidrostática a 400 MPa por 5 minutos); APH 500 MPa/5 min (submetida à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 5 minutos).

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre os níveis de severidade dentro da mesma tecnologia pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre as tecnologias para o mesmo nível de severidade, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

^α Médias seguidas de alfa diferem significativamente do controle pelo teste *Dunnett* ($p < 0,05$); ^β Médias seguidas de beta diferem significativamente do pasteurizado pelo teste *Dunnett* ($p < 0,05$).

4.3.1 Vitamina C

Na tabela 04 são apresentados também os teores de vitamina C do suco misto de frutas tropicais submetido aos diferentes tratamentos. Pode-se observar que ambas as amostras submetidas a APH apresentaram diferenças entre si nos teores de vitamina C dos sucos, também diferindo das amostras tratadas por HAP ao nível de 5% de significância. Ainda pelo teste de Tukey, as amostras HAP 50 MPa e APH 400 MPa/5 min apresentaram diferenças significativas, bem como as amostras HAP 100 MPa e APH 500 MPa/5 min que também diferiram significativamente ($p \leq 0,05$). Pelo teste de Dunnett, foi demonstrado que somente a amostra HAP 50 MPa não diferiu do tratamento controle ($p \leq 0,05$), enquanto apenas as amostras APH 400 MPa/5 min não diferiu do suco pasteurizado ($p \leq 0,05$). HAP 100 MPa e APH 500 MPa/5 min apresentam diferenças significativas em relação às amostras controle e pasteurizado.

Os valores do teor de vitamina C encontrados nos sucos mistos de frutas tropicais variaram de 124,4 mg/100g (menor teor de vit. C) na amostra HAP 100 MPa a 230,0 mg/100g (maior teor

de vit. C) na amostra APH 500 MPa/5 min. Estas amostras apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, o que pode indicar que o processamento de homogeneização a alta pressão, possivelmente, promove a degradação da vitamina C. A amostra HAP 50 MPa obteve o segundo menor teor de vitamina C (159,1 mg/100g) entre as amostras analisadas, demonstrando assim que houve redução de vitamina C nas duas amostras homogeneizadas a alta pressão. A perda de vitamina C nas amostras homogeneizadas a alta pressão (HAP 50 MPa e HAP 100 MPa) pode ter sido provocada pelo aquecimento das amostras causado pelo atrito e pela incorporação de oxigênio (aeração) do suco durante a pressurização (SUAREZ-JACOBO et al., 2011).

Como exemplo, no estudo de Tribst et al. (2011) foi apontado redução de cerca de 50% da vitamina C em néctar de manga submetido à homogeneização a alta pressão. Os autores propuseram que esta perda de vitamina C gerada pela HAP pode estar vinculada às condições de processo, como a presença de oxigênio, o alto cisalhamento e a temperatura da amostra, por serem fatores que podem favorecer a oxidação da vitamina C. No entanto, Welti-Chanes et al. (2009) em outro estudo não detectaram variação de vitamina C em suco de laranja homogeneizado à alta pressão, a pressões variando de 50 a 250 MPa. No presente estudo, o armazenamento da amostra em câmara de congelamento a -14°C antes da análise pode também ter contribuído para certa degradação da vitamina C, causando diminuição de seu teor.

Diante do resultado apresentado pela amostra pasteurizada, que foi de 212,2 mg/100g de vitamina C, e considerando a alta temperatura ($90^{\circ}\text{C}/1$ min) aplicada no tratamento, constatou-se um resultado inesperado, visto que o emprego de alta temperatura deveria ocasionar degradação da vitamina C. No estudo de Suarez-Jacobo et al. (2011), foi observado que a pasteurização de suco de maçã clarificado resultou em redução significativa ($p \leq 0,05$) de 88% de vitamina C, decorrente do tratamento térmico aplicado, quando comparado a amostra sem tratamento ($90^{\circ}\text{C}/4$ min). Autores apontam que a extração de vitamina C pode ser facilitada pelo calor em alimentos com sólidos em suspensão (ALVES FILHO et al., 2018), como é o caso do suco misto tropical de caju, acerola e melão, possivelmente explicando o resultado de maior teor desse nutriente apresentado pela amostra pasteurizada.

As amostras submetidas a APH apresentaram altos teores de vitamina C (tabela 04), em relação a maioria das amostras. A alta pressão hidrostática é caracterizada por não provocar redução no conteúdo de vitamina C em produtos à base de frutas, conservando-os semelhante às amostras não tratadas ou muitas vezes, com concentrações superiores. O aumento no teor de vitamina C é também atribuído ao efeito de maior extração propiciado pela alta pressão (KOUTCHMA et al., 2016; SALAZAR et al., 2020).

O resultado obtido no presente estudo divergiu de certos autores como Chen et al. (2015), que empregaram níveis de pressão de 400 MPa ou superiores em suco de aspargos e observaram redução no teor de vitamina C e de compostos fenólicos presentes no suco. Oey et al. (2008) ponderam que no processo de alta pressão hidrostática há a degradação da vitamina C devido a oxidação que ocorre no processo, principalmente durante o aquecimento adiabático. Outros estudos apontam que não é apenas o fator oxigênio que favorece a degradação da vitamina C nos sucos quando submetidos no processo de APH, há outras interferências como fatores inerentes à própria fruta, como a presença de enzimas oxidativas não inativadas, e as condições de conservação dos mesmos.

No estudo de Lima et al. (2020), obtiveram-se para a amostra homogeneizada a alta a 100 MPa resultados equivalentes a outros processos somente no transcorrer do armazenamento. No tempo 0 de análise, a amostra HAP 100 MPa apresentou resultado menor em comparação a amostra controle e pasteurizado, respectivamente, 158,0 mg/100g, 224,8 mg/100g e 173,2 mg/100g. Porém, ao longo do armazenamento de 42 dias, embora o maior teor de vitamina C tenha sido apresentado pelo suco pasteurizado (180,8 mg/100g), o processo de homogeneização à alta pressão a 100 MPa propiciou certa manutenção no teor de vitamina C, apresentando 124,6 mg/100g de vitamina C ao final do período (42 dias). Como no presente estudo o teor de vitamina C foi verificado somente no tempo 0, não foi possível analisar a eficiência dos processos quanto a permanência da vitamina C nas amostras armazenadas.

A vitamina C tem comportamento explicado pela sua baixa estabilidade e fácil degradabilidade, fazendo com que tenha perdas significativas durante o armazenamento. O ácido ascórbico (vitamina C) é oxidado (química ou enzimaticamente) a ácido deidroascórbico, que apresenta atividade vitamínica, mas que ainda assim é menos estável e sofre oxidação a ácido dicetogulônico, que se degrada em diversos produtos, como: ácido oxálico, ácido xilônico e xilose (CUNHA et al., 2014; SARICA OGLU et al., 2019).

Chaves et al., (2004), ao analisarem o teor de o ácido ascórbico em suco de acerola, observaram que o teor obtido de 98,65 mg 100g⁻¹ foi inferior ao determinado por Brasil et al. (1995), que apontaram valores de 104 mg 100g⁻¹. O autor considerou esta diferença de resultado observada no suco da acerola, em relação a literatura, a possíveis fatores como procedência da fruta (solo, ano agrícola, sistema de produção, tipo da fruta) e também ao seu manuseio (transporte, acondicionamento, processamento e armazenamento), fatores estes que podem alterar a qualidade nutricional, funcional e sensorial da fruta.

4.3.2 Composto Fenólicos Totais

A partir dos resultados apresentados na tabela 04, pode-se observar que os processos de alta pressão hidrostática e homogeneização à alta pressão afetaram de forma significativa as concentrações de compostos fenólicos totais. As amostras HAP se diferenciam significativamente entre si, bem como as amostras submetidas a APH ($p \leq 0,05$). HAP 50 MPa e APH 400 MPa/5 min também apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$), assim como HAP 100 e APH 500 MPa/5 min. Pelo teste de Dunnett, todas as amostras tratadas por HAP e APH apresentaram teor de compostos fenólicos diferindo significativamente dos tratamentos controle e pasteurizado ao nível de 5% de significância.

As concentrações mais altas de compostos fenólicos totais foram obtidas no suco controle (sem tratamento) (325,3 mg EAG/100g) e no suco pasteurizado (321,3 mg EAG/100g). A concentração mais baixa entre as amostras foi a APH 400 MPa/5 min de 265,3 mg EAG/100g. Martins et al. (2020), por outro lado, obtiveram resultados em que o mesmo suco pressurizado a 500 MPa/ 5 min e 400 MPa/5 e 10 min apresentou maiores concentrações de fenólicos. Resultados similares foram obtidos por Huang *et al.* (2013) em néctar de damasco. As maiores concentrações nos tratamentos APH pode ser devido a maior ruptura das células vegetais geradas pelas maiores pressões, levando a uma maior extração desses compostos (QUEIROZ *et al.*, 2010; HUANG *et al.*, 2013; CAMIRO- CABRERA *et al.*, 2017). Considera-se que a APH não tenha em geral efeito negativo na concentração de compostos fenólicos, podendo gerar um aumento dos teores desses compostos quando comparados aos sucos sem tratamento (TADAPANENI *et al.*, 2014; KOUTCHMA *et al.*, 2016).

No presente estudo as reduções significativas ($p \leq 0,05$) dos compostos fenólicos foram observadas em todas as amostras pressurizadas, assim como Rios-Corripio *et al.* (2020) apresentou redução de fenólicos em sucos de romã tratado por APH (tratados a 500 MPa/10 min, 550 MPa/10 min e 600 MPa/5 min) e Cao *et al.* (2012), que apontaram redução para sucos de morango processados por APH (600 MPa/4 min). Essa redução no conteúdo de fenólicos pode ser atribuída à ação de enzimas oxidativas que se encontram no suco misto de frutas tropicais (POD e PPO), consideradas as responsáveis pela redução de compostos fenólicos em vegetais (CAO *et al.*, 2011).

No estudo de suco misto de frutas tropicais de Lima et al. (2020), análogo ao do presente estudo, a maior concentração de fenólicos obtida foi para a amostra HAP 100 MPa (276,3 mg EAG/100g), resultado similar ao encontrado neste estudo de 268,5 mg EAG/100g. De acordo com Suarez-Jacobo et al. (2011), o aumento da concentração dos compostos fenólicos pode se relacionar a substâncias que não correspondam aos polifenóis, que são aptos a reagir com o reagente de Folin-

Ciocalteu (reação fundamentada na transferência de elétrons). Esses compostos podem ser produtos da degradação de carboidratos, enedióis ou redutores e produtos da reação de Maillard. Joubran et al. (2019) reportaram que pressões de 200 MPa com ciclos de passagens (1-5) aumentaram em 15% a concentração de compostos fenólicos totais em suco de morango quando comparado à amostra *in natura*. O aumento de compostos fenólicos foi proporcional ao número de ciclos empregados no processamento de HAP. Karacam et al. (2015) verificaram que o tratamento HAP 100 MPa com 2 e 5 passagens resultou em um aumento de fenólicos totais sendo, respectivamente, 662,9 e 656,2 mg GAE/L, e apresentando diferença significativa entre o controle e as amostras tratadas com 100 MPa com 2 e 5 passagens.

4.3.3 Capacidade Antioxidante

Na tabela 04 estão apresentados os valores referentes a análise de capacidade antioxidante pelo método de ABTS⁺. A capacidade antioxidante é baseada em sua capacidade de eliminar espécies reativas de oxigênio e eletrólitos. É atribuída principalmente aos compostos fenólicos e, em menor grau, ao teor de vitamina C (QUEIROZ *et al.*, 2010; CAO *et al.*, 2012; CAMIRO-CABRERA *et al.*, 2017). A capacidade antioxidante do suco misto variou de 14,6 a 11,0 $\mu\text{mol trolox/g}$, sendo o maior valor obtido pelo suco pasteurizado e o menor pelo suco homogeneizado a alta pressão a 100 MPa.

Suárez-Jacobo et al. (2011), apresentaram resultados semelhantes ao presente estudo, visto que a capacidade antioxidante de suco de maçã pasteurizado foi de 5% maior em relação aos valores encontrados para o suco de maçã homogeneizado à alta pressão. Em contrapartida, Guan et al. (2016), apontaram que houve um aumento na capacidade antioxidante de suco de manga homogeneizado a alta pressão e que tiveram uma redução da capacidade antioxidante quando o suco foi submetido a pasteurização. Resultados como estes demonstram que o tratamento pela HAP foi menos prejudicial aos compostos bioativos no suco de manga.

Observou-se que houve diferença significativa entre as amostras submetidas a APH ($p \leq 0,05$), sendo que as demais amostras de suco misto de frutas tropicais não diferiram significativamente ($p > 0,05$) na capacidade antioxidante por essa metodologia. Pelo teste de Dunnett, demonstrou-se que somente a amostra HAP 100 MPa diferiu do tratamento controle ($p \leq 0,05$), enquanto que todas as amostras submetidas a HAP (50 e 100 MPa) e APH (400/5 min e 500/5 min MPa) apresentaram diferenças ao nível de 5% de significância do produto pasteurizado.

No estudo de Martins et al. (2020), não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) na capacidade antioxidante entre os sucos processados e o controle. Houve aumento nos valores de

capacidade antioxidante no decorrer do armazenamento, exceto para a amostra APH 500 MPa/10 min. Seeram et al. (2008) compararam a atividade antioxidante em bebidas ricas em polifenóis, comercializadas nos Estados Unidos, em que os seguintes valores foram encontrados: suco de romã (41,6 $\mu\text{mol TE/mL}$), suco de mirtilo (13,3 a 17,2 $\mu\text{mol TE/mL}$), suco de cereja preta (11,4 a 17,8 $\mu\text{mol TE/mL}$), suco de açai (11,4 a 16,2 $\mu\text{mol TE/mL}$) e suco de uva do monte (oxicoco) (6,7 a 14,8 $\mu\text{mol TE/mL}$).

Diversas metodologias são 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 empregados para realizar a análise. No estudo de Suarez-Jacobo et al. (2011), foram apresentadas várias tendências nos resultados de capacidade antioxidante de suco de maçã clarificado homogeneizado a alta pressão, a partir dos métodos aplicados de ORAC, FRAP, ABTS⁺ e DPPH. As diferenças apresentadas nos resultados pelos diversos métodos implicaram na necessidade de se empregar mais de um método de análise, para se obter resultados mais abrangentes e consistentes. 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 carotenóides presentes no suco.

4.4 Análise Reológica

Na Figura 12 a) b) e c) pode-se observar a relação entre a viscosidade aparente e a variação de taxa de cisalhamento entre as amostras de suco misto submetidas nos processamentos. Os resultados foram adquiridos com base na taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) de 10^1 a 10^2 1/s e a temperatura de 25 °C.

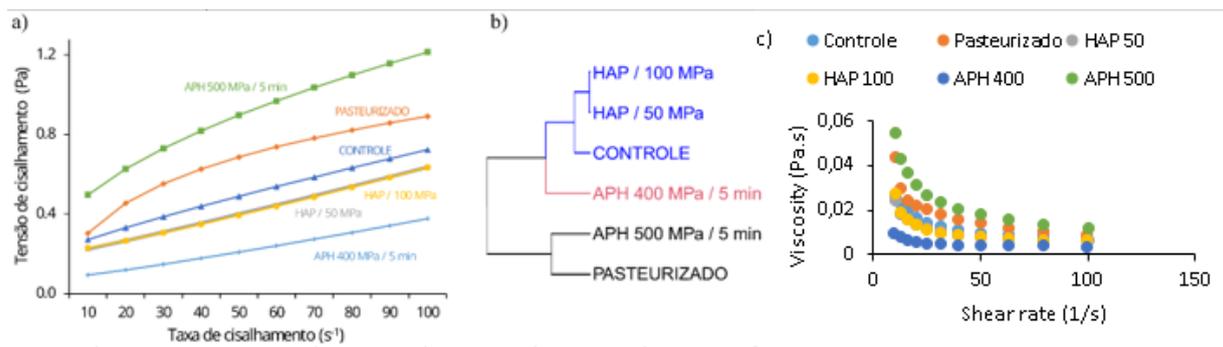


Figura - 12 a) Variação da tensão de cisalhamento (Pa) em relação a variação da taxa de cisalhamento (s⁻¹) do suco misto de frutas tropicais (0,01 a 100 1/s).

b) Clusterização.

c) Viscosidade aparente em relação a variação da taxa de cisalhamento do suco misto de frutas tropicais.

Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (homogeneizado a alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (homogeneizado a alta pressão a 100 MPa); APH 400 MPa/5 min (processado a alta pressão hidrostática a 400 MPa por 5 minutos); APH 500 MPa/5 min (processado a alta pressão hidrostática a 500 MPa por 5 minutos).

Fonte: Própria Autora, 2021.

Com base nos resultados obtidos, foi possível constatar que as amostras APH 500 e a pasteurizada apresentaram maiores valores de viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento em relação à amostra controle. De acordo com Vendrusculo (2005), a pasteurização térmica utilizando vapor direto promove o aumento da viscosidade do fluido devido ao calor úmido utilizado no tratamento, que causa intumescimento e retenção de líquido, no presente caso de água, entre as cadeias de celulose e em fibras insolúveis presentes, ocasionando o aumento do volume das partículas em suspensão. Quando há o aumento do volume das partículas, há uma diminuição da distância entre elas, favorecendo a formação de agregados que proporcionam o aumento da viscosidade do fluido. Outros fatores também contribuem para o aumento da viscosidade aparente no fluido quando submetidos à pasteurização. A solubilização de polissacarídeos pectínicos promove o aumento do teor de sólidos solúveis, acarretando o aumento da viscosidade. E também a redução do pectato e solubilização das fibras insolúveis presentes no fluido, que a pasteurização promove (CHEFTEL e CHEFTEL, 1992).

O aumento da temperatura durante o processo de pasteurização altera a energia térmica e as distâncias moleculares, isto porque, de acordo com Hassan e Hobani (1998), as forças intermoleculares reduzem. Associado ao aumento da temperatura, observa-se também o aumento da taxa de deformação e, assim, uma diminuição da viscosidade aparente. Bezerra et al. (2013) corroboram ao acrescentar que este comportamento pode ser explicado pela mudança estrutural da amostra decorrente das forças hidrodinâmicas geradas, o que faz com que as partículas se reorganizem em direções paralelas, ocorrendo a quebra em partículas menores. Com a diminuição da interação partícula-partícula, as mesmas podem escoar mais facilmente na direção da tensão aplicada (BEZERRA et al., 2013).

As demais amostras, HAP 50, HAP 100 e APH 400 apresentaram uma redução da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento, fato que pode estar relacionado a um comportamento de desbaste por cisalhamento, exibindo características não-newtonianas de fluido pseudoplástico.

Modelo Herschel-Bulkley					
$y = \tau_{\text{taui}} + k_h * (x)^n$					
Tratamentos	Kh	n	taui	R²	RMSE
Controle	0,01062	0,84748	0,19649	0,9991	0,0042
Pasteurizado	0,07599	0,50559	0,12355	0,9716	0,0289
HAP 50 MPa	0,00216	1,1525	0,20062	0,9976	0,0062
HAP 100 MPa	0,00082	1,34846	0,22733	0,9913	0,0114
APH 400 MPa/5 min	0,00151	1,15256	0,07163	0,9997	0,0016
APH 500 MPa/5 min	0,04518	0,65023	0,31599	0,9972	0,0116

Figura 13 – Parâmetros do modelo Herschel-Bulkley do suco misto de frutas tropicais.
Fonte: Própria Autora, 2021.

Um dos critérios utilizados para a definição do modelo reológico foi o coeficiente de determinação (R^2). De acordo com os resultados obtidos (Figura 13), foi possível compreender que o modelo Herschel-Bulkley se ajustou adequadamente em todas as amostras do suco misto, visto que o coeficiente de determinação (R^2) apresentou resultados elevados, que variaram de 0,97 a 0,99, assemelhando-se a 1.

Em geral, o modelo matemático utilizado para fluidos não-newtonianos é o modelo de Herschel-Bulkley, que se adequa a muitos fluidos, combinando os comportamentos de Power-Law e Bingham (ALI et al., 2014). Diante dos resultados, conforme os parâmetros deste modelo, foi observado que as amostras controle, pasteurizada e a submetida a alta pressão hidrostática a 500 MPa/5 min tiveram comportamento pseudoplástico ($n < 1$), que se caracteriza pela diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento. Já as amostras homogeneizadas a alta pressão a 50 MPa, 100 MPa e a submetida a alta pressão hidrostática a 400 MPa/5 min, apresentaram-se como dilatantes, apesar de terem um comportamento similar às demais amostras.

Apesar dessa diferença amostras, verifica-se que as amostras tiveram comportamentos muito semelhantes e valores do n muito próximo a um, tornando-as com perfis análogos, o que pode ser compreendido na clusterização (Figura 13). Como exemplo, a amostra controle apresentou comportamento Pseudoplástico, porém se assemelhou no perfil das amostras homogeneizadas a alta pressão, que se caracterizaram como fluidos dilatantes.

Apesar da significativa perda de viscosidade das amostras homogeneizadas a alta pressão (50 e 100 MPa), a amostra APH 400 MPa/5 min foi a que apresentou a maior perda dentre os tratamentos por pressão, e este fato se deve às mudanças na distribuição do tamanho de partícula causado pelo processamento. Logo após o processamento, o suco submetido a HAP apresenta um acumulado de partículas menores que ocupam espaço entre as partículas maiores, fazendo resultando em uma diminuição na resistência do fluxo. A redução do tamanho de partícula no processamento de HAP possibilita primordialmente a solubilização da pectina, acarretando a redução da viscosidade aparente.

Hsu et al. (2008) estudaram o efeito da APH em suco de tomate e obtiveram a redução de viscosidade do suco (400 MPa/15 min) ao longo do armazenamento a 4 °C. Autores afirmam que a perda da viscosidade é atribuída a precipitação da polpa e a degradação da pectina em virtude da ação das enzimas PME e PE (ABDULLAH et al., 2007; MAKTOUF et al., 2014).

No estudo de Zhou et al. (2017) foram obtidos resultados contrários ao apresentado neste trabalho, em que o suco de manga demonstrou um aumento na viscosidade após ser submetido à HAP. As propriedades reológicas do suco misto de frutas devem ter sofrido modificações devido ao tratamento, decorrente do aumento da solubilização de carboidratos, como amido e pectina. Augusto et al. (2012) apresentaram resultados similares para o soro de tomate, obtendo uma melhora na consistência e no aumento da viscosidade das amostras quando submetidas à HAP.

A partir dos resultados publicados nos vários estudos, pode-se considerar 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. Estudos demonstraram que a ruptura e fragmentação celular, geradas pela HAP, aumentam a área de superfície das partículas suspensas e modificam as propriedades das partículas em fase aquosa, melhorando as interações partícula-partícula e partícula-fase aquosa. Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade facilita o escoamento da polpa e a troca de calor durante o processamento. Desse modo, quanto menor a viscosidade de um fluido, menor será a perda de carga durante o escoamento (BEZERRA et al., 2013).

4.5 Estabilidade Física do Suco Misto de Frutas Tropicais

4.5.1 Distribuição de Tamanho de Partículas

Ao analisar a figura 14 a), é possível verificar a influência dos processamentos sobre a distribuição do tamanho de partícula nas amostras de suco misto de frutas tropicais. As amostras que foram homogeneizadas a alta pressão nas condições de 50 MPa e 100 MPa, tiveram o tamanho médio das partículas reduzidas em razão do aumento da pressão e decorrentes efeitos relacionados. Lima et

al. (2020) e Leite et al. (2014) constataram comportamento similar em seus estudos na redução das partículas do suco misto de frutas tropicais homogeneizados a alta pressão a 50 MPa e 100 MPa.

Pode-se concluir também que as amostras controle, pasteurizada, APH 400 MPa/5 min e APH 500 MPa/5 min obtiveram resultados análogos em relação a distribuição de tamanho de partículas (Figura 14a). Estas amostras apresentaram tamanhos médios de partícula maiores quando comparadas as amostras de sucos homogeneizadas a alta pressão a 50 MPa e 100 MPa.

Conforme ilustrado na Figura 14 b), o tamanho de partícula representado pelo diâmetro equivalente médio D[4,3] apresentou resultados com diferenças significativas entre as amostras HAP 50 e APH 400 MPa/5 min, como também entre as amostras HAP 100 e APH 500 MPa/5 min ($p \leq 0,05$) (Figura 04b). Pelo teste de Dunnett, as amostras homogeneizadas a alta pressão 50 e 100 MPa apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) em relação às amostras controle (sem tratamento) e pasteurizada.

Em relação ao diâmetro equivalente médio D[3,2], a análise demonstrou resultados semelhantes a D[4,3], havendo diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as amostras HAP 50 e APH 400 MPa/5 min, como também entre as amostras HAP 100 e APH 500 MPa/5 min. As amostras controle e pasteurizada se diferenciaram significativamente das amostras HAP 50 e HAP 100 MPa.

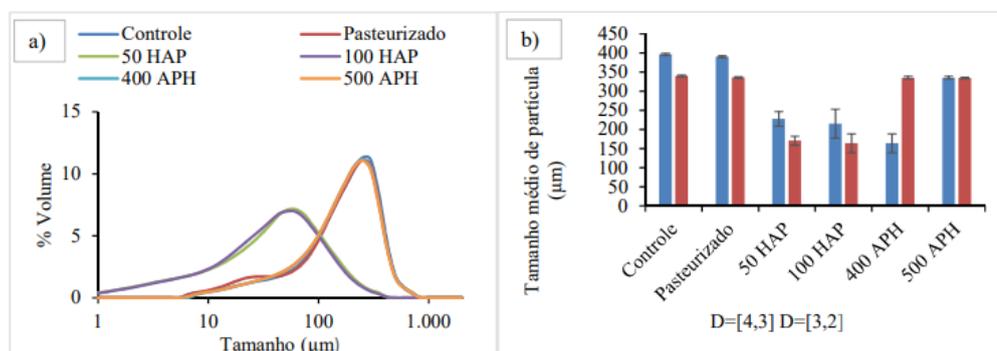


Figura 14 – a) Distribuição do diâmetro de partícula do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes tratamentos.

b) Diâmetro médio da partícula (D[4,3] e D[3,2]) e desvio padrão de cada valor na parte superior das barras verticais do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes tratamentos.

Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 400 MPa/5 min (processada à alta pressão hidrostática a 400 MPa por 5 min.) APH 500 MPa/5 min (processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 5 min.).

Fonte: Própria Autora, 2021.

A variação obtida do diâmetro médio D[4,3] do tamanho de partículas (Figura 14 b) variou de 215,0 a 396,4 µm correspondendo, respectivamente, à amostra HAP 100 MPa e a controle (sem tratamento). Estes resultados demonstram que o processo de homogeneização a alta pressão foi reduzido eficientemente no tamanho de partículas do suco, em comparação com os demais processos. O diâmetro médio D[3,2] do tamanho de partículas apresentou variação de 163,7 a 339,9 µm, correspondente respectivamente a amostra HAP 100 MPa e a controle, resultado semelhante ao

obtido pelo diâmetro médio D[4,3], confirmando a eficácia do processo HAP na redução do tamanho de partícula. O aumento da pressão de homogeneização causou redução nos valores de D[4,3] e D[3,2]. Esta redução no tamanho das partículas ocorre com a pressurização do fluido através da válvula de homogeneização. Ao passar pela válvula, o suco sofre ação de forças de cisalhamento, impacto, turbulência e fenômenos de cavitação que causam o rompimento das células, diminuindo o tamanho médio das partículas do suco (AUGUSTO et al., 2013; AGANOVIC et al., 2018).

Quando comparado ao suco pasteurizado, que seria o produto comumente encontrado no mercado disponível aos consumidores, as amostras do suco homogeneizados tiveram resultados bastante satisfatórios. A redução no tamanho das partículas do suco misto de frutas tropicais foi de grande eficiência.

4.5.2 Sedimentação de Partículas

Na Figura 15 a) e b) pode-se observar na clusterização de dados a evolução no índice de sedimentação (IS) a 4 °C ao longo de três dias, dos sucos mistos de frutas tropicais resultantes dos diferentes processamentos.

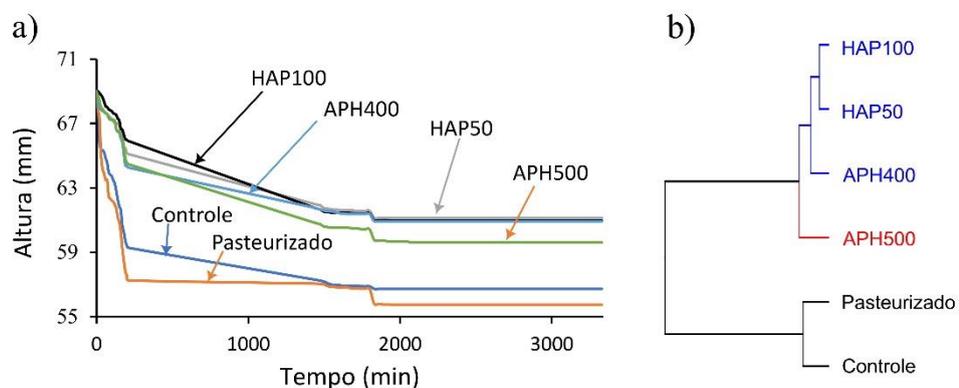


Figura 15– a) Sedimentação da polpa do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes processamentos. b) Clusterização.

Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (homogeneizado a alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (homogeneizado a alta pressão a 100 MPa); APH 400 MPa/5 min (processado a alta pressão hidrostática a 400 MPa por 5 minutos); APH 500 MPa/5 min (processado a alta pressão hidrostática a 500 MPa por 5 minutos).

Fonte: Própria Autora, 2021.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 15 a) e b), a amostra do suco pasteurizado termicamente apresentou maior taxa inicial de sedimentação em relação às demais amostras. A amostra controle (sem tratamento) teve o índice de sedimentação (IS) semelhante ao da amostra pasteurizada, visto que ambas apresentaram maiores taxas de sedimentação inicial quando

comparadas aos outros processamentos e, ao terceiro dia, mostravam-se estabilizadas, resultando no fim da sedimentação. Já as amostras submetidas a homogeneização a alta pressão e alta pressão hidrostática obtiveram comportamento análogo, tendo a amostra APH 500 MPa/5 min obtido maior decréscimo de IS, quando comparado às amostras HAP 50, HAP 100 E APH 400 MPa/5 min. Tanto o suco de caju, quanto o de acerola, possuem naturalmente o inconveniente de sedimentar com rapidez e facilidade, devido ao teor de polpa e tamanho e densidade das partículas em suspensão.

A diferença no IS das amostras pode estar relacionada à diferença na distribuição do tamanho e densidade de partículas. As interações intermoleculares auxiliam a formação de grandes partículas que sedimentam com rapidez, o que gera um abaixamento do IS logo no primeiro dia de análise. Pode-se observar este ocorrido nas amostras controle e pasteurizada (Figura 15 a) e b)). As amostras homogeneizadas a alta pressão obtiveram diferentes valores de IS quando comparadas às amostras controle e pasteurizada. Isto se deve ao processamento que fragmenta as partículas presentes no suco. Quando há a passagem do fluido no homogeneizador, a tensão de cisalhamento ao bombear o fluido promove a separação das partículas presentes, visto que as forças intermoleculares delas são relativamente fracas, podendo se romper facilmente (SARICA OGLU et al., 2019). Esclarecem-se que os dois declínios acentuados verificados no gráfico acima, decorreram do intervalo de tempo em que as amostras não foram analisadas, devido a questões operacionais.

Dos resultados obtidos (Figura 15a), a amostra HAP 50 MPa foi a que apresentou menor sedimentação da polpa, quando comparada às demais amostras, concluindo-se que o processamento de homogeneização a alta pressão foi eficiente ao fragmentar e reduzir o tamanho das partículas presentes no suco. A amostra HAP 100 MPa apresentou um IS inferior quando comparada a amostra HAP 50 MPa (Figura 15a). Esse resultado pode ser considerado, devido a maior pressão empregada no suco o que resultou em partículas muito pequenas e leves dificultando a sedimentação, mantendo-as em suspensão mesmo após a estabilização.

A partir da Lei de Stokes, sabe-se que a velocidade de sedimentação da partícula é diretamente proporcional ao diâmetro quadrado da partícula, considerando 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. O Sistema a que Stokes se refere considera que apenas forças mecânicas são atuantes, fato que não ocorre em suco e polpas de frutas, visto que outras forças atuam nas partículas presentes, como a força de Van der Waals (em partículas menores) e forças hidrodinâmicas (partículas maiores) (STREETER et al., 1982).

Conforme demonstrado na Figura 15 a) e considerando os valores de IS obtidos que resultaram em pequenas diferenças entre si, considera-se que o processamento preliminar da polpa

de suco misto de frutas, envolvendo peneiramento, ocasionou considerável redução de fibras presentes no suco, interferindo na sedimentação. Desta forma, associando o IS com o processamento a que cada amostra foi submetida, o resultado alcançado foi coerente, sendo que os processamentos de homogeneização a alta pressão e alta pressão hidrostática tiveram maior redução de IS em relação às amostras controle e pasteurizadas. A fragmentação e redução das partículas presentes no suco submetidas a estes tratamentos ocasionaram tal redução no IS. Deste modo, pode-se considerar o tratamento de homogeneização a alta pressão, em particular, um processo eficaz para prevenir a sedimentação em polpas de sucos.

O processo de sedimentação da polpa em todas as amostras analisadas cessou a partir do terceiro dia de análise. Em comparação ao estudo realizado por Lima et al. (2020), a formação do sedimento do suco misto de frutas foi diferenciada. Apesar do experimento envolver a mesma formulação do suco, houve diferença no processamento das polpas. A polpa do suco misto de frutas tropicais neste estudo foi preparada em despulpadeira, depois prensada e peneirada. Na pesquisa realizada por Lima et al. (2020), as polpas de acerola e melão foram adquiridas congeladas e não pasteurizadas de empresa industrial e comercial, sendo a polpa de caju prensada a frio na Embrapa Agroindústria de Alimentos. Devido ao processamento das polpas, o suco misto de frutas tropicais neste estudo obteve menor viscosidade e menos partículas dispersas. A passagem pelo peneiramento fez com que o suco se tornasse mais diluído, em virtude da retenção das fibras presentes. Desta forma, sugere-se que a estabilidade da sedimentação foi mais veloz em razão do seu estado físico, atingindo assim o equilíbrio do IS no terceiro dia de análise.

E conforme os resultados obtidos, pode-se concluir que, em relação a amostra pasteurizada (suco correntemente comercial e de maior consumo), as amostras homogeneizadas tiveram bons resultados, atingindo os menores índices de sedimentação e uma rápida estabilidade.

4.5.3 Cor Instrumental

Os parâmetros de cor instrumental (método CieLAB (L^* , a^* e b^*)) são apresentados na Figura 16, referentes aos diferentes processamentos do suco misto de frutas tropicais.

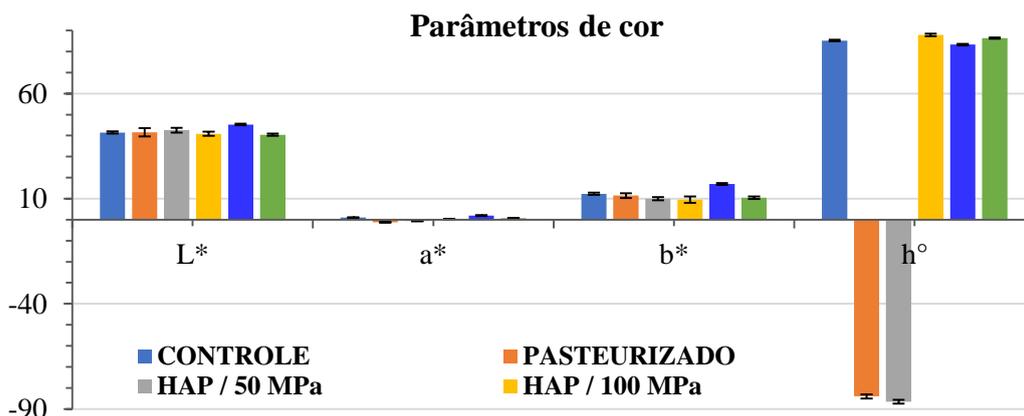


Figura 16 - Parâmetros de cor (a^* , b^* e L^*) do suco misto de frutas tropicais submetidos aos diferentes processamentos. Controle (sem tratamento); Pasteurizado ($90\text{ }^\circ\text{C}/1\text{ min}$); HAP 50 MPa (homogeneizado a alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (homogeneizado a alta pressão a 100 MPa); APH 400 MPa/5 min (processado a alta pressão hidrostática a 400 MPa por 5 minutos); APH 500 MPa/5 min (processado a alta pressão hidrostática a 500 MPa por 5 minutos).

Fonte: Própria Autora, 2021.

Logo após o processamento de pasteurização térmica, homogeneização a alta pressão e alta pressão hidrostática, pode-se observar visualmente diferenças nas cores das amostras de suco misto de frutas tropicais entre si, e comparados à amostra controle (sem tratamento), como apresentado na figura 16.

Ao analisar a Figura 16, pode-se verificar que houve mudança nas cores das amostras logo após o processamento. Essas amostras permaneceram desde o processamento em câmara de congelamento a $-14\text{ }^\circ\text{C}$ e foram descongeladas para imediata realização da análise.

Com relação ao parâmetro a^* , as amostras HAP 50 e HAP 100 MPa apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$), assim como as amostras APH 400 e APH 500 MPa/5 min. As amostras HAP 50 e APH 400 MPa/5 min também se diferenciam significativamente. Pelo teste de Dunnett, todas as amostras apresentaram diferença ao nível de 5% de significância em relação a amostra controle e pasteurizada. Já com relação ao parâmetro b^* , verificou-se que APH 400 e APH 500 MPa/5 min se diferenciam significativamente ($p \leq 0,05$). As amostras HAP 50 MPa e APH 400 MPa/5 min também tiveram diferenças significativas. Em relação à amostra controle, apenas a amostra APH 500 MPa/5 min não se diferenciou significativamente dela ($p \leq 0,05$), e com relação a amostra pasteurizada, a APH 400 MPa/5 min foi a única que apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Para o parâmetro L^* , que se refere à luminosidade da amostra, somente a APH 400 MPa/5 min e APH 500 MPa/5 min diferenciam-se significativamente ($p \leq 0,05$), bem como as amostras HAP 50 MPa e APH 400 MPa/5 min. Pelo teste de Dunnett, somente a amostra APH 400 MPa/5 min

apresentou diferença significativa em relação às amostras controle e pasteurizada ($p \leq 0,05$). Observou-se que a amostra homogeneizada a alta pressão 50 MPa apresentou o maior valor e, em seguida, a amostra pasteurizada. Isto demonstra que o processamento tornou as amostras mais luminosas.

Das principais características que no processo de homogeneização a alta pressão confere, destaca-se a redução de partículas do produto. Neste caso, o suco misto submetido ao tratamento HAP 50 MPa tornou-se luminoso, visto que a presença de partículas menores permite maior passagem de luz. A amostra pasteurizada também adquiriu um aumento em sua luminosidade, o que se deve ao efeito térmico do tratamento da pasteurização, como também verificado na HAP, devido ao pequeno aumento da temperatura pela falta do trocador de calor no momento do processamento. O aumento da temperatura pode ter promovido a preservação das antocianinas presentes nas amostras do suco misto, como verificado no estudo de Albarici e Pessoa (2012) em suco de açaí, que constataram que a pasteurização térmica proporcionou a preservação das antocianinas presentes nessa matriz. Pode-se conferir também que a amostra APH 400 MPa/5 min houve aumento nos valores de L^* , indicando que o processamento de alta pressão hidrostática promoveu um clareamento da cor do suco. Esse aumento no valor de L^* pode estar relacionado à alteração no perfil de pigmentos após o processamento (LEE e COATES, 2003).

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, o parâmetro h° apresentou diferenças significativas entre as amostras HAP 50 e HAP 100 MPa, assim como entre as amostras APH 400 MPa/5 min e APH 500 MPa/5 min, HAP 50 MPa com a APH 400 MPa/ 5 min e nas amostras HAP 100 MPa e APH 500 MPa/5 min ($p \leq 0,05$). Aplicando a análise Dunnett, observou-se que somente a amostra submetida a alta pressão hidrostática a 500 MPa/5 min não apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) em relação à amostra controle e, quanto à amostra pasteurizada, todas elas se diferenciaram significativamente. A maior tonalidade (h°) do suco misto de frutas tropicais foi de 87,9, obtida na amostra HAP 100 MPa.

Para complementar a avaliação de cor, utiliza-se o parâmetro ΔE para indicar a diferença total de cor. De acordo com Cserhalmi et al. (2006), a diferença de cor de uma amostra 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). A partir dos resultados, observou-se diferença significativa entre as amostras APH 400 MPa/5 min e a APH 50 MPa/5 min e HAP 100 MPa e APH 500 MPa/5 min. Pelo teste de Dunnett, somente a amostra APH 400 MPa/5 min diferenciou significativamente ($p \leq 0,05$) da pasteurizada. Conforme a escala de mudanças total de cor, a amostra pasteurizada ($3,23 \pm$

0,95), a HAP 50 MPa ($3,15 \pm 0,91$), a HAP 100 MPa ($3,34 \pm 1,63$) e a APH 400 MPa/5 min ($6,08 \pm 0,55$) apresentaram mudanças bem visíveis, e somente a amostra APH 500 MPa/5 min apresentou mudança perceptível ($2,23 \pm 1,12$) em relação ao controle.

As amostras homogeneizadas a alta pressão apresentam mudança na coloração, devido possivelmente a oxidação dos pigmentos pelo oxigênio dissolvido no suco. Kubo et al. (2013) e Zhou et al. (2017), verificaram mudanças na tonalidade de suco de tomate e manga e aumento no parâmetro ΔE , que foram submetidos a HAP. Estes pigmentos se tornam mais expostos após o processamento de homogeneização, em virtude da redução do tamanho da partícula da matriz, gerando o aumento da área de exposição dos mesmos e relacionando-se ao aumento nos valores do parâmetro L^* , que estabelece a luminosidade da amostra (KUBO et al., 2013). 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 modificam a cor do suco (CAO et al., 2012).

4.5.4 Microestrutura Óptica

A figura 17 apresenta a microestrutura observada em microscópio óptico do suco misto de frutas tropicais resultante dos diferentes processamentos.

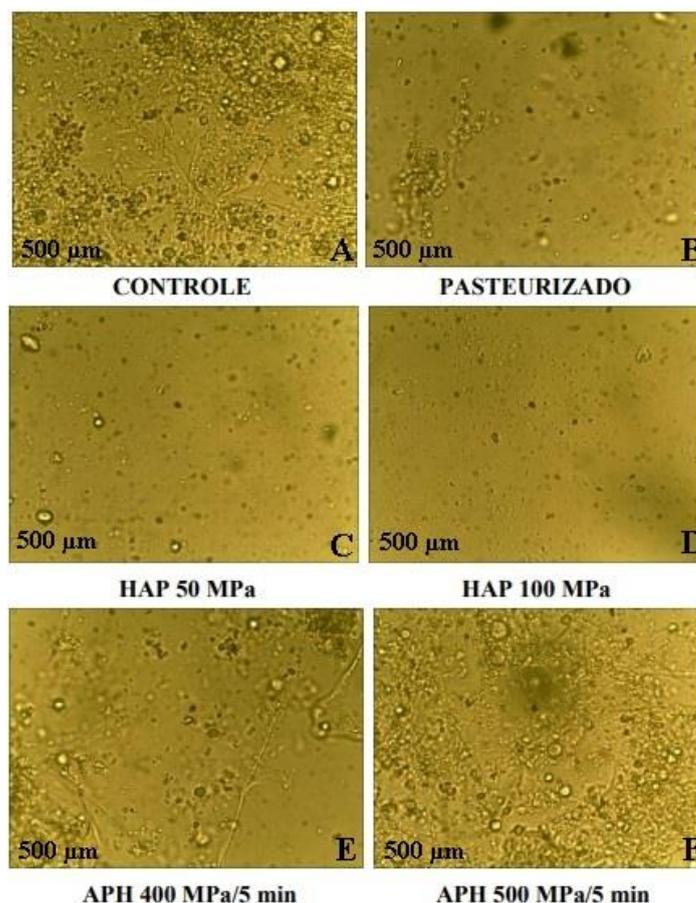


Figura 17 – Imagens da microestrutura (500 µm) dos sucos mistos de frutas tropicais resultantes dos processamentos. (A) Controle (sem tratamento); (B) Pasteurizado (90 °C/1 min), (C) HAP 50 MPa (homogeneizado a alta pressão a 50 MPa); (D) HAP 100 MPa (homogeneizado a alta pressão a 100 MPa); (E) APH 400 MPa/5 min (processado a alta pressão hidrostática a 400 MPa por 5 min.); (F) APH 500 MPa/5 min (processado a alta pressão hidrostática a 500 MPa por 5 min.).

Fonte: Própria Autora, 2021.

Ao analisar as imagens, observa-se que as amostras apresentaram diferenças, sendo que a amostra controle (sem tratamento) conteve células mais aglomeradas (menos fragmentadas), assim como a amostra pasteurizada, quando comparadas com as amostras tratadas por homogeneização a alta pressão. Estas apresentaram células reduzidas e fragmentadas em virtude do processamento.

A partir das imagens apresentadas das amostras, em ambas as pressões 50 e 100 MPa, pode-se observar que o grau de fragmentação foi aparentemente proporcional ao aumento da pressão submetida ao suco. Observando a figura 17, pode-se concluir que a HAP 100 MPa apresentou células mais fragmentadas em comparação ao processo de HAP 50 MPa, como também maior conteúdo celular foi liberado na fase dispersa do suco (HAP 100 MPa). Os resultados obtidos para a microestrutura do suco misto submetidos a HAP, confirmam as mudanças obtidas no comportamento reológico. As amostras submetidas a alta pressão hidrostática em 400 e 500 MPa/5 min tiveram

imagens similares às amostras controle e pasteurizada, que também obtiveram células mais aglomeradas, apresentando distribuições similares de tamanho de partícula.

Correlacionando os dados das análises de estabilidade física (reológica, de distribuição do tamanho de partícula, sedimentação da partícula, de cor instrumental, e microestrutura óptica), constatou-se que os resultados interagiram e corresponderam ao esperado do processo de homogeneização a alta pressão.

5. Conclusão

Diante dos resultados das análises realizadas no suco misto de frutas tropicais, observou-se que a homogeneização a alta pressão (HAP) não foi eficiente na inativação dos microrganismos deteriorantes nas amostras, sendo possivelmente necessária a utilização de maiores pressões aplicadas (acima de 100 MPa), para assegurar a estabilidade microbiológica. Além do fator pressão, falhas no envase do suco quando submetido a HAP, podem ter determinado uma possível contaminação. A contaminação microbiana possivelmente determinou ou influenciou outras características do suco, como a redução do teor de sólidos solúveis e o aumento no pH. Já as amostras submetidas a alta pressão hidrostática (APH) e a amostra pasteurizada apresentaram níveis adequados relativos aos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação vigente.

O processo HAP também causou a redução do conteúdo de vitamina C presente no suco. Esta perda de vitamina C nas amostras homogeneizadas a alta pressão pode ter ocorrido, em virtude do aquecimento das amostras causado pelo atrito e pela incorporação de oxigênio (aeração) do suco durante a pressurização, e pela presença de enzimas oxidativas, as peroxidases e polifenoloxidasas (POD e PPO), não inativadas pelo processo que se encontram no suco misto de frutas tropicais. Em relação a extração de compostos bioativos, o processo de HAP reduziu levemente a extração dos compostos fenólicos, possivelmente também em virtude da ação de enzimas oxidativas que também podem ter influenciado a redução verificada da capacidade antioxidante do suco, assim como a degradação da vitamina C e dos carotenóides presentes.

Em contrapartida, o processo de APH promoveu aumento do conteúdo de vitamina C, o que se deve à preservação decorrente de não se empregar o uso de calor, além de maior extratibilidade de compostos bioativos propiciado pelo efeito de maior porosidade em membranas e paredes celulares. Apesar da utilização de processo térmico, com emprego de alta temperatura (90 °C/1 min.) que promoveria esperada degradação, a amostra pasteurizada também resultou em alto teor de vitamina C.

A HAP promoveu redução significativa do tamanho das partículas presentes no suco, ocasionando uma melhora da estabilidade física, cor e viscosidade, tornando-o mais luminoso, menos sedimentado (sem separação de fases) e mais fluído, sem corpo de fundo ou partículas dispersas. Desta forma, essas mudanças ocorridas podem refletir em melhorias na aparência do suco, a serem comprovada em estudos futuros envolvendo análise sensorial.

Ao analisar os tratamentos de pasteurização e alta pressão hidrostática, pode-se compreender que o comportamento de ambos em relação a sedimentação foi similar ao suco controle (sem tratamento), uma vez que estes processamentos não promoveram a redução do tamanho da partícula, causando sedimentação com maior rapidez nas amostras do suco. Outro fator que pode ter favorecido a sedimentação nestas amostras, foi a possível ação de enzimas que permite a insolubilização de substâncias solúveis, como a pectina metil esterase (PME), que não foram provavelmente inativadas pelos processos de APH e pasteurização.

No estudo reológico foi possível evidenciar que o modelo Herschel-Bulkley se ajustou adequadamente em todas as amostras de sucos. Conforme os parâmetros deste modelo, todas as amostras do suco tiveram comportamento pseudoplástico ($n < 1$), caracterizado pela diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento. O modelo Herschel-Bulkley se adequa aos fluidos que possuem comportamento descritos pelos modelos de Power-Law e Bingham.

As menores viscosidades foram obtidas nos sucos submetidos a APH 400 MPa/5 min, HAP 100 e HAP 50 MPa, respectivamente. Os resultados demonstraram que, devido a redução do tamanho de partícula no processamento de HAP, com possível solubilização da pectina presente nas frutas, pode ter acarretado a redução da viscosidade aparente. As alterações nas propriedades reológicas do suco após o tratamento podem ter sido causadas pelo aumento da solubilização de carboidratos, como amido e pectina.

Assim, de modo geral, observou-se que o processamento do suco por HAP foi efetivo para a estabilidade física e na preservação da cor. A HAP tornou as amostras mais luminosas decorrente da redução das partículas, e promoveu, com base no estudo reológico, redução da viscosidade aparente, com diminuição da tensão necessária para escoamento do fluido, o que diminuiria efetivamente a força necessária para prováveis operações de bombeamento em linhas industriais, resultando em uma economia energética. Em contrapartida, em relação à segurança microbiológica, seria possivelmente necessário o emprego de níveis mais elevados de pressão, ou optar-se por uma associação a outros métodos de conservação, como a adição de antimicrobianos ou com outros processamentos, como ultrassom, micro-ondas, entre outros, para assegurar a estabilidade microbiológica, como verificada nos processos de pasteurização e APH.

No entanto, tal requerimento de maiores pressões estaria condicionado a avaliação mais efetiva em sistema acoplado em envase asséptico. Para os compostos bioativos, a HAP não foi tão eficiente, devido a redução havida no teor de compostos fenólicos e da capacidade antioxidante do suco. No teor de vitamina C, concluiu-se que de fato o emprego da HAP não foi efetivo pela grande perda ocasionada, porém novos estudos devem ser realizados com o objetivo de um melhor entendimento dos mecanismos envolvidos, para que haja melhorias no resultado do processo.

Estudos futuros são necessários para o desenvolvimento do processo para otimização de dados, características de qualidade e garantia da segurança microbiológica do produto. Igualmente, estudos sensoriais serão requeridos para melhor entendimento da aplicação potencial da HAP, com relação a percepção e a aceitação do produto pelo consumidor. A redução da viscosidade, do tamanho de partículas, a alteração na cor, são todos aspectos que podem afetar a aceitação do produto pelo o consumidor. Outra alternativa que poderia ser viável, conforme anteriormente considerado, seria possivelmente associar a HAP a um outro tipo de processamento, visando obter resultados satisfatórios para o aprimoramento do processo do suco misto de frutas tropicais e conseqüente melhoria do produto. Porém, neste caso, estudos complementares seriam necessários.

6. Referências Bibliográficas

ABDULLAH, A. G. L.; SULAIMAN, N. M.; AROUA, M. K.; NOOR, M. J. M. M. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. *Journal of Food Engineering, Essex*, v. 81, n. 1, p. 65-71, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.013>.

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>>.

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 >.

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> >.

ALVES FILHO, E. G. et al. Evaluation of thermal and non-thermal processing effect on non-prebiotic and prebiotic acerola juices using ¹H qNMR and GC±MS coupled to chemometrics. *Food*

Chemistry, v. 265, p. 23-31, 2018. Disponível em: < <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S030881461830829X> >.

ALVES, Ricardo Elesbão. Melão. **Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia**, 2000.

ARAÚJO, P. S. R de; MINAMI, K. **Acerola**. Campinas: Fundação Cargill, 1994. 81p.

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> >.

BALA, B.; FARKAS, D.; TUREK, E. J. Preserving foods through high-pressure processing. **Food Technology**, v. 11, p. 32-38, 2008.

BALASUBRAMANIAM, V.M.; FARKAS, D. High-pressure Food Processing. **Food Science and Technology International**, Columbus, v. 14, p. 413-418, 2008.

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> >.

BARBOSA, S. J. *Qualidade de suco em pó de misturas de frutas obtido por spray drying*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2010.

BATES, R. P.; MORRIS, J. R.; CRANDALL, P. G. **Principles and practices of small - and medium - scale fruit juice processing**. FAO Agricultural Services Bulletin, 146. Food Science and Human Nutrition Department. University of Florida, 2001.

BISOGNIN, D. A. Origem e Evolução de Cucurbitáceas Cultivadas. **Ciência Rural**, v.32, n.5, p. 715-723, 2002.

BEVILACQUA, A. et al. Effects of the high pressure of homogenization on some spoiling microorganisms, 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> >.

BEZERRA, J. R. M. V. **Comportamento da polpa de manga**. UNICAMP, Campinas, SP: 2000. (Tese de doutorado).

BEZERRA, Carolina Vieira et al. Comportamento reológico de suco misto elaborado com frutas tropicais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, p. 155-162, 2013.

BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil: MAPA 2009.

BRASIL, I.M.; MAIA, G.A.; FIGUEIRÊDO, R.W. Physical-chemical during extraction and clarification of guava juice. *Food Chemistry*, v.54, n.4, p.383-386, 1995.

BRASIL. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 12, DE 4 DE SETEMBRO DE 2003**. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade Gerais para Suco Tropical. Ministério da agricultura, pecuária. e abastecimento. Brasília 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Indicadores e estatísticas**. 2008.

BRASIL. Ministerio da Saude. Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria. Resolução da Diretoria Colegiada. IN n. 161, 01 de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para a população brasileira** / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. – 2. ed., 1. reimpr. – Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

Brinez et al., 2006a WJ Brinez , AX Roig-Sagues , MMH Herrero , BG Lopez **Inativação por homogeneização a ultra-alta pressão de cepas de *Escherichia coli* inoculadas em suco de laranja** Journal of Food Protection , 69 (5) (2006) , pp . 984-989

Brinez et al., 2006b WJ Brinez , AX Roig-Sagues , MMH Herrero , BG Lopez **Inativação de *Listeria innocua* em leite e suco de laranja por homogeneização a ultra-alta pressão** Journal of Food Protection , 69 (1) (2006) , pp . 86-92

Brinez et al., 2007 WJ Brinez , AX Roig-Sagues , MMH Herrero , BG Lopez **Inativação de *Staphylococcus spp.* cepas em leite integral e suco de laranja usando homogeneização de ultra alta pressão em temperaturas de entrada de 6 e 20 °C** Food Control , 18 (10) (2007) , pp . 1282-1288

CAMARGOS, M. C. S., & Gonzaga, M. R. (2015). Viver mais e melhor? Estimativas de expectativa de vida saudável para a população brasileira. *Cadernos de Saude Publica*, 31(7), 1460-1472. PMID:26248101.< <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00128914> >.

CAMIRO-CABRERA, M. et al. High hydrostatic pressure and temperature applied to preserve the antioxidant compounds of mango pulp (*Mangifera indica* L.). *Food and Bioprocess Technology*, v. 10, n. 4, p. 639-649, 2017. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-016-1844-5> >.

CAMPOS, F.P. et al. Utilização de tecnologia de alta pressão no processamento de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 351-357, 2003.

CAO, X. et al. Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innovative food science & emerging technologies.*, v. 16, p. 181-190, 2012. Disponível em: < <http://europepmc.org/abstract/AGR/IND500603351>>.

CAO, X. et al. Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 91, n. 5, p. 877-885, 2011. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.4260>>.

CARVALHO, I. T. **Microbiologia dos Alimentos**. Programa Escola Técnica Aberta do Brasil (ETEC). Recife: EDUFRPE, 2010.

CASTALDO, D.; LOVOI, A.; QUAGLIUOLO, L.; SERVILLO, L.; BALESTRIERI, C.; GIOVANE, A. Orange juice and concentrates stabilization by a proteic inhibitor of pectin methylesterase. *Journal of Food Science*, Chicago, v.56, n.6, p.1632-1634, 1991.

CAVALCANTE, J. M.; MAGALHÃES, H. C. R.; DE BRITO, E. S. **Modificações no perfil de metabólitos do suco de melão submetido à pasteurização**. II Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2010.

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. 88 (Dissertação (Mestrado em Nutrição). Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2018.

CHAVES, J.B.P. Noções de microbiologia e conservação de alimentos. Viçosa: UFV, 1993. 113p.

CHAVES, M.C.V., GOUVEIA, J.P.G., ALMEIDA, F.A.C., LEITE, C.A., SILVA, F.L.H. Caracterização físico-química do suco da acerola. *REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA*, Volume 4, Número 2, 2º Semestre, 2004.

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

CHEFTEL, J.C. High pressure, microbial inactivation and food preservation. *Food Science and Technology International*, v. 1, p.75-90, 1995.

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>>.

CODEVASF. **Censo frutícola da Codevasf 2001**. Brasília, [2003]. Disponível em: < <http://www.codevasf.gov.br/fruticultura> >. Acesso em: 7 jun. 2022.

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>>.

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> >.

CORREA-NETO, R. S.; FARIA, J. A. F. Fatores que influem na qualidade do suco de laranja. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 19, n. 1, p. 153-161, 1999.

COSTA, T. S. A.; LIMA, A.; LIMA, M. V. Determinação de tanino em pedúnculo de caju: método da vanilina versus método do butanol ácido. **Química Nova**, v. 26, n. 5, 2003.

COSTELL, E.; DURAN, L. Reología físico-química del puré de albaricoque. Parte I. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 22, n. 3, p. 381-394, 1982.

CSEHALMI, 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> >.

DAS, I.; ARORA, A. Post-harvest processing technology for cashew apple ± A review. *Journal of Food Engineering*, v. 194, p. 87-98, 2017. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877416303223> >.

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> >.

DE BRITO, E. S. et al. Determination of the flavonoid components of cashew apple (*Anacardium occidentale*) by LC-DAD-ESI/MS. *Food Chemistry*, v. 105, n. 3, p. 1112-1118, 2007. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814607001896> >.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Frutas e hortaliças**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortalicas>. Acesso em 20 jul. 2022.

FAO. Faostat. **Major tropical fruits: Preliminary market results 2019**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations: 24 p. 2020.

FARR, D. High pressure technology in the food industry. **Trends in Food Science and Technology**, v. 1, p. 14-16, 1990.

FENIMAN, C.M. **Caracterização de raízes de mandioca (*Maniõth esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas**

épocas de colheita. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. 2004.

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>>.

FIGUEIRÊDO, R.M.F., GRANDIN, A., MARTUCCI, E.T. Armazenamento do suco de acerola microencapsulado. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.3, n.1, p.1-6, 2001.

Floury J., A. Desrumaux, J. Legrand. **Efeito da homogeneização a ultra alta pressão na estrutura e nas propriedades reológicas de emulsões estabilizadas com proteína de soja.** *Journal of Food Science*, 67 (9) (2002), pp. 3388 – 3395.

FONSECA, Letícia Assis Barony V. **Fruticultura Brasileira: Diversidade e sustentabilidade para alimentar o Brasil e o Mundo.** Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), 2022. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/fruticultura-brasileira-diversidade-e-sustentabilidade-para-alimentar-o-brasil-e-o-mundo#:~:text=A%20fruticultura%20brasileira%2C%20seja%20cultivando,um%20alimento%20saud%C3%A1vel%20e%20saboroso>. Acesso em 20 jul. 2022.

Food and Bioprocess Technology, v. 7, n. 5, p. 1424-1432, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11947-013-1134-4>>.

FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (ed.). **Anthocyanins as food colors.** New York: Academic Press, p. 181-207, 1989.

GEORGÉ, S., BRAT, P., ALTER, P., AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, v. 53, p. 1370-1373.

GODOY, R. B. **Gomas na estabilidade do Néctar e do Suco de Goiaba (Psidium guayava L.).** 52f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1997.

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>>.

GUL, O., SARICA OGLU, F. T., MORTAS, M., ATALAR, I., & YAZICI, F. Effect of high pressure homogenization (HPH) on microstructure and rheological properties of hazelnut milk. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 41, 411–420, 2017.

HALL, R. S.; PATTERSON, M. F.; MADDEN, R. H. Resistance of *Pseudomonas* e *Brochothrix* species to high hydrostatic pressure. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICoMST), 48., Rome, 25-30 de Agosto de 2002.

HAMINIUK, C.W.I; SIERAKOWSKI, M.R; IZIDORO, D.S; MACEL, G.M; SCHEER, A.P; MASSON, M.L. Comportamento reológico de sistemas pecticos de polpas de frutas vermelhas. *Revista Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.29, n.1, p.225-231, 2013.

HASSAN, B. H.; HOBANI, A. I. Flow properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 459-470, 1998.

Hayes MG., PF Fox, AL Kelly. **Aplicações potenciais da homogeneização de alta pressão no processamento de leite líquido**. *Journal of Dairy Research*, 72 (1) (2005), pp. 25 – 33.

HOFFMANN, F. L. et al. Qualidade microbiologica de sucos de frutas "in natura". *Hig. Aliment.*, Sao Paulo, v. 15, n. 80/81, p. 59-62, 2001.

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> >.

HUANG, W. et al. Comparative study of enzymes, phenolics, carotenoids and color of apricot nectars treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 18, p. 74-82, 2013. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856413000027> >.

HUGAS, M.; GARRIGA, M.; MONFORT, J. M. New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICoMST), 48., Rome, 25-30 de Agosto de 2002. *Proceedings... Rome: Università di Parma/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 2002. v. 1, p. 85-93.

IBARZ, A.; GARVIN, A.; COSTA, J. Rheological Behaviour of Sloe (*Prunus Spinosa*) Fruit juices. **Journal of Food Engineering**. v. 27, p. 423-430, 1996.

JIMENEZ, C. et al. Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: Effect on Composition, Phytochemical Content, and Physicochemical, Rheological, and Organoleptic Properties of Fruit Juices. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 57, 2015.

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> >.

KAMAT, S. S., & BALASUBRAMANIAM, V. M. High pressure food process design for food safety and quality. In: **Food engineering series** (pp. 523–552), 2020. Springer.

KARWOWSKI, M. S. M. **Estudo da estabilidade, comportamento reológico e dos compostos fenólicos de frutas da Mata Atlântica**. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do

Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Curitiba, 2012.

KOUTCHMA, T. *et al.* Effects of ultraviolet light and high-pressure processing on quality and health-related constituents of fresh juice products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 5, p. 844-867, 2016.

KUBO M.T.K.; AUGUSTO P.E.; CRISTIANINI, M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice *Food Research International*, 51 (1), pp. 170-179, 2013.

LEE, H. S.; COATES, G. A. Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments. *LWT - Food Science and Technology*, v. 36, n. 1, p. 153-156, 2003. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643802000877> >.

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> >.

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> >.

LIMA, Antônio Calixto; GARCIA, Nelson Horácio Pezoa; LIMA, Janice Ribeiro. Obtenção e caracterização dos principais produtos do caju. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, n. 1, 2004.

LIMA, M. A. **SUCO MISTO TROPICAL HOMOGENEIZADO À ALTA PRESSÃO: EFEITOS NOS COMPOSTOS BIOATIVOS, ESTABILIDADE FÍSICA E CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – UFRRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, p. 15-44. 2020.

LIMA, R. M. F.; LUZ, J.A. M. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Rem: Revista Escola Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, Jun. 2001.

LIU, X., LIU, J., BI, J., CAO, F., DING, Y., & PENG, J. Effects of high pressure homogenization on physical stability and carotenoid degradation kinetics of carrot beverage during storage. **Journal of Food Engineering**, 263, 63–69, 2019.

LIU, X., LIU, J., BI, J., YI, J., PENG, J., NING, C., et al. Effects of high pressure homogenization on pectin structural characteristics and carotenoid bioaccessibility of carrot juice. **Carbohydrate Polymers**, 203, 176–184, 2019.

LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; CARBALLO, J.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Microbial inactivation in meat products by pressure / temperature processing. *Journal of Food Science*, v. 67, n. 2, p. 797-801, 2002b.

MAIA, Geraldo Arraes et al. Efeito do processamento sobre componentes do suco de acerola. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 130-134, 2007.

MAIA, G. A., *et al.* **Processamento de Frutas Tropicais: nutrição produtos e controle de qualidade.** Editora UFC, 2009. 277p.

MAKTOUF, S.; NEIFAR, M.; DRIRA, S. J.; BAKLOUTI, S.; FENDRI, M.; CHÂABOUNI, S. E. Lemon juice clarification using fungal pectinolytic enzymes coupled to membrane ultrafiltration. *Food and Bioproducts Processing, Rugby*, v. 92, n. 1, p. 14-19, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2013.07.003>.

MARSZALEK, K., DOESBURG, P., STARZONEK, S., SZCZEPANSKA, J., WOŹNIAK, L., LORENZO, J. M., *et al.* Comparative effect of supercritical carbon dioxide and high pressure processing on structural changes and activity loss of oxidoreductive enzymes. **Journal of CO2 Utilization**, 29, 46–56, 2019.

MARTINS, Fabiana de Oliveira. **Efeito da alta pressão dinâmica nas propriedades físicas, químicas e nutricionais de okara.** Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP: [s.n.], 2019.

MARTINS, Inayara Beatriz Araujo. **Aspectos sensoriais, nutricionais e tecnológicos do desenvolvimento de suco misto tropical pressurizado.** 2020. 187p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, 2020.

MARTINS, I. B. A. *et al.* Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International*, v. 125, p. 108555, 2019. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996919304338> >.

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.

MARTINS, G.J.M. **Influência da dureza da água em suspensões de esmalte cerâmico.** Florianópolis: Faculdade de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. 85 p. Dissertação de Mestrado.

MATSUURA, F.C.A.U., CARDOSO, R.L., FOLEGATTI, M.I.S., OLIVEIRA, J.R.P., OLIVEIRA, J.A.B., SANTOS, D.B. Avaliações físico-químicas em frutos de diferentes genótipos de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*. Jaboticabal, SP, v.23, n.3, p.602-606, 2001.

MEHNERT, W. and MADER, K. (2001) Solid Lipid Nanoparticles Production, Characterization and Applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 47, 165-196. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-409X\(01\)00105-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-409X(01)00105-3)

MELO, Enayde de Almeida *et al.* Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, p. 193-201, 2008.

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-comosetor-privado/PlanoNacionaldeDesenvolvimentodaFruticulturaMapa.pdf>>.

MIZRAHI, S. Accelerated shelf-life tests. In: STEELE, R. (Ed.). **Understanding and measuring the shelf-life of food**. Boca Raton, CRC Press, 2004, Cap.14.

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>>.

MORAES, I.V.M., “Dossiê Técnico - Produção de Polpa de Fruta Congelada e Suco de Frutas” **Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro** – REDETEC, 2006.

MOURA, C. F. H. et al. Acerola (*Malpighia emarginata*). In: RODRIGUES, S.; DE OLIVEIRA SILVA, E., et al (Ed.). *Exotic Fruits*: Academic Press, 2018. p.7-14.

NAGY, S.; CHEN, C.S.; SHAW, P.E. **Fruit juice processing technology**. Miami: Agscience Ins.; Albuquerque, 1993. 713p.

NETO, Raimundo Marcelino Silva et. al. Características físico-químicas e compostos aromáticos do suco de melão clarificado por microfiltração tangencial. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 9, n. 1, p. 75-80, 2016.

NI, Y., ZHANG, Z., FAN, L., & LI, J. Evaluation of physical stability of high pressure homogenization treatment cloudy ginkgo beverages. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology**, *111*, 31–38, 2019.

NOGUEIRA, J.N. Estudo químico e tecnológico da acerola (*Malpighia Glabra L.*). Fortaleza: UFC, 117p. Dissertação Mestrado. 1999.

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>>.

OLIVEIRA, J. C. et al. Características microbiológicas do suco de laranja in natura. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 26, n. 2, p. 241-245, 2006.

OLIVEIRA, L. S. et al. The influence of processing and long-term storage on the antioxidant metabolism of acerola (*Malpighia emarginata*) purée. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 23, p. 151-160, 2011. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202011000200007&nrm=iso>.

PARENTE, J.I.G.; PESSOA, P.F.A.P.; NAMEKATA, Y. **Diretrizes para recuperação da cajucultura no Nordeste**. Fortaleza: EMBRAPA, 1991.

PATTERSON, M. F., QUINN, M., SIMPSON, R., & GILMOUR, A. Sensitivity of vegetative pathogens to high hydrostatic pressure treatment in phosphate-buffered saline and foods. **Journal of Food Protection**, *58*, 524–529, 1995.

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> >.

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>>.

POKHREL, P. R., TONIAZZO, T., BOULET, C., ONER, M. E., SABLANI, S. S., TANG, J., & BARBOSA C'ANOVAS, G. V. Inactivation of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* in carrot juice by combining high pressure processing, nisin, and mild thermal treatments. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 54, 93–102, 2019.

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>>.

PINHEIRO, A. M. et al. Avaliação Química, Físico-química e microbiológica de sucos de frutas integrais: abacaxi, caju e maracujá. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v.26, n.1,p. 98-103, jan. mar. 2006.

QUEIROZ, C. et al. Changes in bioactive compounds and antioxidant capacity of fresh-cut cashew apple. *Food Research International*, v. 44, n. 5, p. 1459-1462, 2011. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996911001785> >.

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> >.

RAJ, A. S., CHAKRABORTY, S., & RAO, P. S. Thermal assisted high-pressure processing of Indian gooseberry (*Emblica officinalis* L.) juice—Impact on colour and nutritional attributes. **LWT-Food Science and Technology**, 99, 119–127, 2019.

RAO, M. A.; ANANTHESWARAN, R. C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, Chicago, v. 36, n. 2, p. 116-126, 1982.

RETICENA, Ketlyn de Oliveira. **Estudo do comportamento reológico da polpa de maracujá enriquecida com polpa de banana verde**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RIOS-CORRIPIO, G. et al. Influence of high hydrostatic pressure processing on physicochemical characteristics of a fermented pomegranate (*Punica granatum* L.) beverage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 59, p. 102249, 2020. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856419302498> >.

RITZINGER, Rogério; RITZINGER, Cecília Helena Silvino Prata. **Acerola**. Embrapa - Agroindústria de Alimentos - Artigo em periódico indexado (ALICE), 2011.

ROCHA, M. C.; SILVA, A. L. B.; ALMEIDA, A.; COLLAD, F. H. Efeito do uso de biofertilizante agrobio sobre as características físico-químicas na pós-colheita do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) no município de Taubaté. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 7-13, 2001.

Rodrigo et al., 2007 D. Rodrigo , A. van Loey , M. Hendrickx. **Degradação de cor térmica e de alta pressão combinada de purê de tomate e suco de morango**. *Journal of Food Engineering*, 79 (2007), pp. 553-560.

RODRIGUES, Fernando Moraes; et. al. Alta pressão hidrostática na conservação de alimentos: um enfoque para o processamento de sucos. **J. Bioen. Food Sci.**, Macapá, v. 1, n. 2: pp. 35-46, Jul/Set. 2014.

Roobab, U., Aadil, R. M., Madni, G. M., & Bekhit, A. E. D. (2018). The impact of nonthermal technologies on the microbiological quality of juices: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 17(2), 437–457.

ROOBAB, U., SHABBIR, M. A., KHAN, A. W., ARSHAD, R. N., BEKHIT, A. El-Din, ZENG, Xin-An, INAM-UR-RAHEEM, M., AADIL, R. M. High-pressure treatments for better quality clean-label juices and beverages: Overview and advances. **LWT-Food Science and Technology**, Volume 149, 2021.

ROSA, Jeane Santos da et al. Desenvolvimento de um método de análise de vitamina C em alimentos por cromatografia líquida de alta eficiência e exclusão iônica. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* [online]. 2007, vol.27, n.4, pp. 837-846.

ROSENTHAL, A.; **Tecnologia de Alimentos e Inovação: tendências e perspectivas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

RUFINO, M. do S. M; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA- CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS □+. Comunicado Técnico 128. Embrapa Agroindústria Tropical. 2007.

RUFINO, M. D. S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610001172>>.

SALAZAR, F. A. et al. HHP influence on food quality and bioactive compounds: a review of the last decade. In: (Ed.). *Reference Module in Food Science*: Elsevier, 2020.

SALEHI, F. Physico-chemical and rheological properties of fruit and vegetable juices as affected by high pressure homogenization: A review. **International Journal of Food Properties**, 23(1), 2020, 1136–1149.

Sánchez-Moreno et al., 2006. C. Sánchez-Moreno, L. Plaza, B. de Ancos, MP Cano. **Caracterização nutricional de sucos de tomate pasteurizados tradicionais comerciais:**

Carotenóides, vitamina C e capacidade de eliminação de radicais. *Food Chemistry*, 98 (2006), pp. 749-756.

SANCHO, Soraya de Oliveira et al. Alterações químicas e físico-químicas no processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Food Science and Technology**, v. 27, p. 878-882, 2007.

SAN MARTÍN, M. F.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; SWANSON, B. G. Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 42, n. 6, p. 627-645, 2002.

SANTIAGO, J. S. J., JAMSAZZADEH KERMANI, Z., XU, F., VAN LOEY, A. M., & HENDRICKX, M. E. The effect of high pressure homogenization and endogenous pectin-related enzymes on tomato puree consistency and serum pectin structure. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 43, 35-44, 2017.

SANTOS, J.; RIBEIRO, G. A. Avaliação microbiológica de sucos de laranja "in natura", comercializados na cidade de Pelotas, RS. *Hig. Aliment.*, Sao Paulo, v. 20, n. 138, p. 104-107, 2006.

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>>.

SEERAM, N. P.; AVIRAM, M.; ZHANG, Y.; HENNING, S. M.; FENG, L.; DREHER, M.; HEBER, D. Comparison of antioxidante potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 56, p. 1415-1422, 2008.

SENTANDREU, E., STINCO, C. M., VICARIO, I. M., MAPELLI-BRAHM, P., NAVARRO, J. L., & MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. High-pressure homogenization as compared to pasteurization as a sustainable approach to obtain Mandarin juices with improved bioaccessibility of carotenoids and flavonoids. **Journal of Cleaner Production**, 262, 121325, 2020.

SEVENICH, R., & MATHYS, A. Continuous versus discontinuous ultra-high-pressure systems for food sterilization with focus on ultra-high-pressure homogenization and high-pressure thermal sterilization: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 17(3), 646-662, 2018.

SHINOHARA, S. N. K.; BEZERRA, B. V.; CASTRO, J. S. M.; C, L. M. E.; FIREMAN, D. R. A.; LIMA, J. L. Salmonella spp., importante agente patogênico veiculado em alimentos. **Ciência & Saúde Coletiva**, Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, v. 13, n. 5, p. 1669-1674, Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, P.A., CARVALHO, A.N., PINTO, P.A. Elaboração e caracterização de fruta estruturada mista de goiaba e cajá. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, n. 51, p.99-113, jan/jun. 2009.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, R. F. S.; GOMES, R. A. R. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4 ed. São Paulo: Varela. 2010.

Silveira, Marcia Liliane Rippel, and Silvana Maria Michelin Bertagnolli. "Microbiological and

hygienic-sanitary evaluation of in natura orange juice trading/Avaliação microbiológica e das condições higiênicas-sanitárias de comercialização de sucos de laranja in natura." *Alimentos e Nutrição* [Brazilian Journal of Food and Nutrition], vol. 23, no. 3, July-Sept. 2012, pp. 461+. *Gale Academic OneFile*, link.gale.com/apps/doc/A339919295/AONE?u=capes&sid=bookmark-AONE&xid=35ca7f42. Accessed 23 Aug. 2022.

SOUSA, Paulo Henrique Machado de. **Desenvolvimento de néctares mistos de frutas tropicais adicionados de Ginkgo biloba e Panax ginseng**. Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, 2006.

SOUSA, P.H.M.S.; MAIA, G.A.; SOUZA FILHO, M.S.M.; AZEREDO, H.M.C.; SOUSA NETO, M.A. Desenvolvimento de *blends* de sucos de frutas tropicais prontos para beber. **V Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos**, Campinas, SP, 2003.

SOUSA, Thaynna Leocádio Trajano Lacerda et al. Aspectos nutricionais do caju e panorama econômico da Cajucultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e229101119435-e229101119435, 2021.

SOUZA, F. D. F. et al. **Contribuições das pesquisas realizadas na embrapa semiárido para a cultura da aceroleira**. EMBRAPA. Petrolina: Embrapa Semiárido. 26 p. 2017.

SOUZA, K. O. D. et al. Antioxidant compounds and total antioxidant activity in fruits of acerola from cv. Flor Branca, Florida Sweet and BRS 366. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, p. 294- 304, 2014. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452014000200004&nrm=iso >.

STINCO, C. M., SZCZEPANSKA, J., MARSZALEK, K., PINTO, C. A., INÁCIO, R. S., MAPELLIBRAHM, P., et al. Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice. **Food Chemistry**, 299, 125112, 2019.

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> >.

SUH, H. J.; NOH, D. O.; KANG, C. S.; KIM, J. M.; LEE, S. W. Thermal kinetics of color degradation of mulberry fruit extract. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 47, p. 132-135, 2003.

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> >.

TALASILA, U.; SHAIK, K. B. Quality, spoilage and preservation of cashew apple juice: A review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 52, n. 1, p. 54-62, 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0931-0> >.

Thiebaud M., E. Dumay, L. Picart, JP Guiraud, JC Cheftel. **Homogeneização a alta pressão de leite bovino cru. Efeitos na distribuição do tamanho dos glóbulos de gordura e inativação microbiana.** *International Dairy Journal*, 13 (6) (2003), pp. 427 – 439.

TONELLO, C. Case studies in high pressure processing of foods. In: Zjang, H.Q., BarbosaCanovas, G.V., Balasubramaniam, V.M., Dunne, C.P., Farkas, D.F, Yuan, J.T.C. (Eds.), **Nonthermal Processing Technologies for Food.** Wiley-Blackwell and IFT Press, USA, pp. 36 e 50, 2011.

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. **Microbiologia.** 4 ed. Atheneu. São Paulo, 2005.

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>>.

VASQUES, Caroline Teixeira et al. **Reologia do suco de goiaba: efeito da diluição e do tamanho de partícula.** 2003. (Dissertação de Mestrado).

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>>.

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.

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> >.

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> >.

YAMASHITA, Fábio et al. Produtos de acerola: estudo da estabilidade de vitamina C. **Food Science and Technology**, v. 23, p. 92-94, 2003.

YILDIZ, G. Application of ultrasound and high-pressure homogenization against high temperature-short time in peach juice. **Journal of Food Process Engineering**, 42 (3), Article e12997, 2019.

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> >.

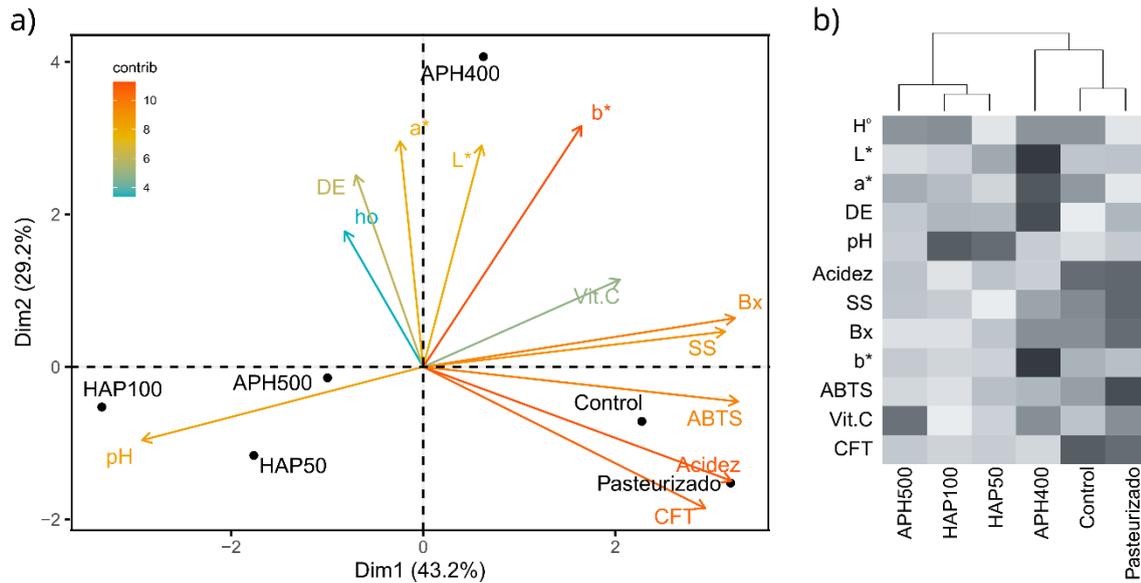
ZHANG, W., Yu [U, Y., XIE, F., GU, X., WU, J., & WANG, Z. High pressure homogenization versus ultrasound treatment of tomato juice: Effects on stability and in vitro bioaccessibility of carotenoids. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie Food Science and Technology**, 116, 108597, 2019.

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> >.

7 Informações Complementares

7.1 Anexos

Figura 01: Análises de multivariáveis do suco misto de frutas tropicais.



a) Gráfico PCA.

b) Mapa de Calor.

