



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

RHINERY BEATRIZ ROCHA BORGES

**MÉTODOS PARA MINIMIZAR PERDAS DE
QUALIDADE DE ACEROLA E JABUTICABA: IMERSÃO
EM CaCl_2 , CONGELAMENTO E LIOFILIZAÇÃO**

**LAVRAS - MG
2022**

RHINERY BEATRIZ ROCHA BORGES

**MÉTODOS PARA MINIMIZAR PERDAS DE QUALIDADE DE ACEROLA E
JABUTICABA: IMERSÃO EM CaCl_2 , CONGELAMENTO E LIOFILIZAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Jaime Vilela de Resende
Orientador

Profa. Dra. Clarissa Damiani
Coorientadora

LAVRAS - MG

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Borges, Rhinery Beatriz Rocha.

Métodos para minimizar perdas de qualidade de acerola e jaboticaba: Imersão em CaCl₂, congelamento e liofilização / Rhinery Beatriz Rocha Borges. - 2022.

100 p. : il.

Orientador(a): Jaime Vilela de Resende.

Coorientador(a): Clarissa Damiani.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Congelamento. 2. Comportamento reológico. 3. Microscopia.
I. Resende, Jaime Vilela de. II. Damiani, Clarissa.

RHINERY BEATRIZ ROCHA BORGES

**MÉTODOS PARA MINIMIZAR PERDAS DE QUALIDADE DE ACEROLA E
JABUTICABA: IMERSÃO EM CaCl₂, CONGELAMENTO E LIOFILIZAÇÃO
METHODS TO MINIMIZE QUALITY LOSSES OF ACEROLA AND
JABUTICABA: IMMERSION IN CaCl₂, FREEZING AND LYOPHILIZATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de Abril de 2022.

Dr. José Guilherme Lembi Ferreira Alves – UFLA

Dra. Cristiane Morgado – UFG

Dr. Jaime Vilela de Resende – UFLA

Dra. Clarissa Damiani – UFG

Prof. Dr. Jaime Vilela de Resende
Orientador

Profa. Dra. Clarissa Damiani
Coorientadora

LAVRAS – MG

2022

AGRADECIMENTOS

Tantos foram aqueles que me ajudaram na elaboração e realização deste trabalho. Mas, sem dúvida, há aqueles que precisam ser mencionados:

Agradeço, primeiramente à Deus, pela oportunidade de estudar, pela sabedoria e pela força para chegar até aqui.

A minha mãe, Sédina Cardoso da Rocha, meu pai Benomires dos Santos Borges, minhas irmãs Victória Emanuelle, Isabella Luíza e Émilly Amábilly, meu namorado Daniel, que estiveram sempre ao meu lado, dando-me todo apoio necessário no decorrer de todo o mestrado, por sempre me encorajar e, principalmente, por sempre acreditarem em mim e me incentivarem.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

Ao professor, Jaime Vilela de Resende, meu orientador, pelos ensinamentos repassados, apoio, incentivo, por sempre me deixar trabalhar à vontade. Obrigada por tudo!

A professora, Clarissa Damiani, minha coorientadora, obrigada pela orientação, incentivo, apoio, paciência, carinho e todos os conhecimentos transmitidos.

A Universidade Federal de Goiás (UFG), pela oportunidade da realização deste trabalho em suas dependências.

Ao professor, Cirano José Ulhoa, por se disponibilizar a liofilizar as frutas para as análises.

A Bruna, Cristine e Ana, por me auxiliarem na liofilização e também nas análises.

Aos membros da banca examinadora, pela disposição em fazer as correções em tempo hábil, e pelas valiosas sugestões para a melhoria deste trabalho.

Aos técnicos do laboratório da UFG, por me aconselharem e darem o suporte necessário.

A todos os meus amigos que contribuíram para a realização do trabalho não importando a forma. Meus sinceros agradecimentos.

Seria praticamente impossível lembrar todas as pessoas que contribuíram de alguma maneira para que este trabalho chegasse ao final com êxito. Sou imensamente grata a vocês e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram na realização deste trabalho.

Muitíssimo obrigada a todos!

RESUMO

A acerola e a jabuticaba, foram escolhidas para a realização deste estudo por serem frutas sazonais, possuírem tamanhos próximos, grande produção no Brasil, perecíveis e devido à necessidade de aplicação de métodos de conservação para prolongar a qualidade pós-colheita. Além disso, sabe-se que algumas frutas são consumidas com casca como a acerola e outras sem casca como a jabuticaba. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi observar o efeito da taxa de congelamento (lento e rápido), avaliando algumas características da acerola (representando as frutas consumidas com casca) e da jabuticaba (representando as frutas consumidas sem casca), utilizando diferentes tratamentos. Acerola e jabuticaba foram submetidas a tratamentos por infusão em cloreto de cálcio, congelamento em temperaturas distintas (congelamento lento em freezer e congelamento rápido em ultra freezer) e liofilização. Foram realizadas análises físico-químicas, colorimétricas, microscopia eletrônica de varredura (MEV), comportamento reológico (jabuticaba) e resistência a perfuração (firmeza). De acordo com os resultados, para a acerola, a infusão em CaCl_2 não interferiu nas análises, exceto na microestrutura, o congelamento lento ocasionou maiores danos a fruta e a combinação do congelamento rápido e liofilização resultaram em frutas com a qualidade mais satisfatória. Para a jabuticaba, o CaCl_2 alterou de forma significativa, apenas a microestrutura, o congelamento lento, ocasionou maiores danos a fruta; os melhores resultados de colorimetria foram para a combinação congelamento rápido e liofilização; com relação ao comportamento reológico, a lei da potência e o modelo Hershell-Bulkley evidenciaram o melhor ajuste, caracterizando a jabuticaba congelada como um fluido não Newtoniano pseudoplástico.

Palavras-chave: Congelamento, colorimetria, firmeza, comportamento reológico, microscopia.

ABSTRACT

Acerola and jaboticaba were chosen for this study because they are seasonal fruits, have similar sizes, large production in Brazil, perishables and due to the need to apply conservation methods to prolong post-harvest quality. In addition, it is known that some fruits are consumed with their skin, such as acerola, and others without their skin, such as jaboticaba. Therefore, the objective of this work was to observe the effect of the freezing rate (slow and fast), evaluating some characteristics of acerola (representing fruits consumed with peel) and jaboticaba (representing fruits consumed without peel), using different treatments. Acerola and jaboticaba were submitted to treatments by infusion in calcium chloride, freezing at different temperatures (slow freezing in freezer and fast freezing in ultrafreezer) and lyophilization. Physicochemical, colorimetric, scanning electron microscopy (SEM), rheological behavior (jaboticaba) and perforation resistance (firmness) were performed. According to the results, for acerola, the infusion in CaCl_2 did not interfere in the analyses, except for the microstructure, slow freezing caused greater damage to the fruit and the combination of fast freezing and lyophilization resulted in fruits with the most satisfactory quality. For jaboticaba, CaCl_2 changed significantly, only the microstructure, slow freezing, caused greater damage to the fruit; the best colorimetry results were for the combination of fast freezing and lyophilization; regarding the rheological behavior, the power law and the Hershell-Bulkley model showed the best fit, characterizing the frozen jaboticaba as a non-Newtonian pseudoplastic fluid.

Keywords: Freezing, colorimetry, firmness, rheological behavior, microscopy.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	27
Equação 2.....	27
Equação 3.....	29
Equação 4.....	30
Equação 5.....	50
Equação 6	51
Equação 7	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curvas de congelamento em função do tempo que são típicas do congelamento rápido e do congelamento lento	20
Figura 2: Diagrama de fases da água	22
Figura 3: Curvas de escoamento de fluidos não newtonianos de propriedades dependentes do tempo de cisalhamento.....	33
Figura 4: Cartograma - Acerola: Quantidade produzida no Brasil em toneladas.....	38
Figura 5: Cartograma - Jabuticaba: Quantidade produzida no Brasil em toneladas	42
Figura 6: Ranking dez maiores Estados brasileiros produtores de Jabuticaba em toneladas	43
Figura 7: Jabuticaba in natura	44
Figura 8: Resultados de (a) Potencial Hidrogeniônico (pH), (b) Acidez Titulável e (c) Teores de Sólidos Solúveis nos tratamentos com acerola congelada, submetidas a diferentes tratamentos.	52
Figura 9: Resistência a compressão (perfuração) das amostras de acerola submetidas a diferentes tratamentos	56
Figura 10: (A) Congelamento rápido e (B) Congelamento lento	57
Figura 11: Parâmetros colorimétrico da acerola congelada (a) L* (b) a* (c) b* (d) Cromaticidade e (e) ângulo Hue, submetidas a diferentes tratamentos	58
Figura 12: Acerola submetida ao congelamento rápido e liofilização.	60
Figura 13: Fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura de acerolas submetidas a pré-tratamentos (a) Sem infusão em solução de cloreto de cálcio 1% e congelamento lento (b) Com infusão em solução de cloreto de cálcio 1% e congelamento lento (c) Sem infusão em solução de cloreto de cálcio 1% e congelamento rápido (d) Com infusão em solução de cloreto de cálcio 1% e congelamento rápido.....	62
Figura 14: Resultados de (a) Potencial Hidrogeniônico (pH), (b) Acidez Titulável e (c) Teores de Sólidos Solúveis nos tratamentos com jabuticaba, submetidas a diferentes tratamentos.....	64
Figura 15: Resistencia a compressão (perfuração) das amostras de jabuticaba submetidas a diferentes tratamentos	68
Figura 16: (A) Congelamento lento da jabuticaba sem infusão no cloreto de cálcio, (B) congelamento rápido da jabuticaba sem infusão no cloreto de cálcio e (C) jabuticaba sem nenhum tratamento a temperatura ambiente	69
Figura 17: Parâmetros colorimétrico da jabuticaba congelada (a) L* (b) a* (c) b* (d) Cromaticidade e (e) ângulo Hue, submetidas a diferentes tratamentos.....	70
Figura 18: Curvas de fluxo: (a) Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação (b) Viscosidade aparente em função da taxa de deformação	74
Figura 19: Fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura de jabuticabas submetidas a pré-tratamentos (a) sem infusão em solução de cloreto de cálcio 4% e congelamento lento (b) com infusão em solução de cloreto de cálcio 4% e congelamento lento (c) sem infusão em solução de cloreto de cálcio 4% e congelamento rápido (d) com infusão em solução de cloreto de cálcio 4% e congelamento rápido.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Acerola produzida nos estados Brasileiros (Em toneladas)	38
Tabela 2: Composição por 100g de acerola in natura	40
Tabela 3: Produção anual de jabuticaba produzida nos estados Brasileiros (Em toneladas)	43
Tabela 4: Composição por 100g de jabuticaba in natura	45
Tabela 5: Tratamento e abreviação utilizado para identificar a acerola e jabuticaba durante experimento.....	47
Tabela 6: Relação sólidos solúveis totais e acidez total titulável para as amostras de acerola submetidas aos diferentes tratamentos	55
Tabela 7: Relação sólidos solúveis totais e acidez total titulável para as amostras de jabuticaba submetidas aos diferentes tratamentos	67
Tabela 8: Parâmetros reológicos dos extratos de jabuticaba à temperatura de 20 °C e modelos analisados, Lei de Newton, Lei da potência e o modelo de Hershell—Bulkley	76

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1.	Fatores de qualidade das frutas: desperdício, perdas e qualidade.....	15
2.1.1.	Desperdício, perdas e qualidade.....	15
2.2.	Conservação Pós-Colheita: Métodos para redução de perdas.....	16
2.2.1.	Congelamento de alimentos.....	16
2.2.1.1.	Redução da temperatura sem mudança de fase.....	18
2.2.1.2.	Cristalização.....	18
2.2.1.3.	Tempo de congelamento.....	19
2.2.1.4.	Tipos de congelamento.....	19
2.2.2.	Liofilização.....	22
2.2.3.	Relação entre o uso de cloreto de cálcio e resistência à compressão.....	24
2.2.4.	Coloração da epiderme.....	26
2.2.5.	Colorimetria.....	27
2.2.6.	Reologia.....	28
2.2.6.1.	Comportamento reológico.....	28
2.2.6.1.1.	Fluido Newtoniano.....	29
2.2.6.1.2.	Fluido não Newtoniano.....	30
2.2.6.1.2.1.	Fluidos não newtonianos independentes do tempo.....	30
2.2.6.1.2.1.1.	Fluidos pseudoplásticos.....	31
2.2.6.1.2.1.2.	Fluidos dilatantes.....	31
2.2.6.1.2.1.3.	Fluidos não Newtonianos Bingham.....	32
2.2.6.1.2.1.4.	Fluidos Não Newtonianos Herschell — Bulkley.....	32
2.2.6.1.2.2.	Fluido Não Newtoniano dependentes do tempo.....	32
2.2.6.1.2.2.1.	Tixotropia.....	32
2.2.6.1.2.2.2.	Reopexia.....	33
2.2.6.1.2.3.	Fluidos não Newtonianos viscoelásticos.....	34
2.2.7.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	35
2.2.8.	Características físico-químicas.....	36
2.3.	Acerola.....	37
2.4.	Jabuticaba.....	41
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1.	Obtenção das frutas.....	47
3.2.	Preparo das amostras.....	47
3.3.	Análise físico-químicas.....	48

3.3.1.	Sólidos solúveis	48
3.3.2.	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	49
3.3.3.	Acidez titulável.....	49
3.4.	Resistência à compressão	49
3.5.	Colorimetria.....	49
3.6.	Comportamento Reológico.....	50
3.7.	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	51
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1.	Parâmetros físico químicos, resistência a compressão, colorimetria e MEV –.....	52
	Acerola	52
	Resistência à compressão - Acerola	56
	Colorimetria - Acerola.....	58
	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) - Acerola	62
4.2.	Parâmetros físicos - químicos, resistência a compressão, colorimetria, comportamento reológico e MEV - Jabuticaba	64
	Resistência à compressão - Jabuticaba	68
	Colorimetria Jabuticaba.....	70
	Comportamento reológico das polpas de jabuticaba	74
	Microscopia eletrônica de varredura - Jabuticaba	80
5.	CONCLUSÃO.....	83
	REFERÊNCIAS	84

1. INTRODUÇÃO

Grandes perdas de frutas frescas ocorrem entre a colheita e o consumo final. No Brasil, estima-se que entre a colheita e a chegada à mesa do consumidor, ocorram perdas de até 40% de frutas e hortaliças produzidas. Essas perdas podem ser de natureza quantitativa ou qualitativa, ocasionando redução no seu valor comercial (RINALDI, 2018). De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2014), as perdas são a redução não intencional de alimentos disponíveis para o consumo humano, resultando na ineficiência da cadeia produtiva, tais como, infraestrutura e logística deficiente e/ou falta de tecnologias para a produção. As perdas ocorrem, principalmente, na produção, pós-colheita e processamento, quando, por exemplo, o alimento não é colhido em tempo hábil, ou é danificado durante o processamento, armazenamento e transporte. Grande parte das perdas são de frutas sazonais, devido ao grande volume de produção e curta vida útil.

Dentre as espécies de importância no Brasil, destacam-se a jabuticabeira e a aceroleira, sendo o Brasil grande produtor dessas frutas tropicais, destacando o Estado de Goiás como maior produtor de jabuticaba do Brasil (IBGE, 2017) e o Pernambuco, como maior produtor de acerola (IBGE, 2017). Ambas as frutas são sazonais, com a safra próxima aos meses de setembro e outubro (SOUZA, 2018), altamente perecíveis, apresentando curto período de utilização, devido ao seu elevado teor de água e açúcares (SATO, 2009).

A comercialização e consumo de acerola e jabuticaba *in natura* é limitado por sua alta perecibilidade, apresentando altas taxas respiratórias que são possivelmente responsáveis pela curta vida pós-colheita (RIBEIRO, 2017). Por esse motivo, grande parte da produção é comercializada na forma de polpa congelada, doces, sucos, sorvetes e/ou geleias. O potencial de armazenamento e a qualidade dos frutos para o consumo *in natura* é dependente do estágio de maturação na colheita (BRAMAN; AHMAD; SIDDIQUI, 2015).

O armazenamento a baixas temperaturas é um dos métodos mais efetivos e práticos utilizados para prolongar a vida pós-colheita de frutos. Baixas temperaturas diminuem a taxa respiratória, a perda de água e retardam o amadurecimento, assim como diminuem a incidência de microrganismos (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Dessa forma, minimizam perdas, mantêm a qualidade e prolonga a vida pós-colheita dos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Entretanto, muitas vezes, torna-se necessária a associação de outros métodos de conservação para manter os aspectos de qualidade do fruto (FANTE, 2011).

A acerola e a jabuticaba, apesar de não serem frutas parecidas, foram escolhidas para efeito de comparação, por serem sazonais, possuírem tamanhos próximos, grande

produção no Brasil e muito perecíveis. A necessidade de aplicação de métodos de conservação para prolongar a vida de prateleira de ambas as frutas é de suma importância. Além disso, sabe-se que algumas frutas são consumidas com casca, como no caso da acerola e outras sem casca, como a jaboticaba.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi observar o efeito do congelamento lento ou rápido nas características físicas e químicas da acerola (consumida com casca) e da jaboticaba (consumida sem casca), utilizando tratamentos diferentes como congelamentos em temperaturas distintas, liofilização e infusão em cloreto de cálcio, a fim de verificar se houve alteração da qualidade do produto devido ao método que foi submetido e comparar qual o melhor método para prolongar a vida de prateleira das frutas congeladas com menores alterações na qualidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fatores de qualidade das frutas: desperdício, perdas e qualidade

2.1.1. *Desperdício, perdas e qualidade*

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2014), a definição de desperdício e perdas de alimentos é bem difícil de ser estabelecida. Considera-se que perdas é a redução, não intencional, de alimentos disponíveis para o consumo humano, resultando na ineficiência da cadeia produtiva, tais como infraestrutura e logísticas deficientes e/ou falta de tecnologias para a produção. As perdas ocorrem, principalmente, na produção, pós-colheita e processamento, quando, por exemplo, o alimento não é colhido em tempo hábil, ou é danificado durante o processamento, armazenamento e transporte.

O desperdício é o descarte intencional de produtos alimentícios apropriados para o consumo humano, portanto, este é decorrente do próprio comportamento das pessoas e são, especificamente, as perdas deliberadas que ocorrem na comida apta para o consumo, seja por descarte ou pela não utilização por hábitos equivocados dos consumidores (FAO, 2014).

As perdas e desperdício de alimentos no mundo ocorrem durante toda a cadeia produtiva e tem causas econômicas, políticas, culturais e tecnológicas, que abrangem as principais etapas da cadeia de movimentação como produção, transporte, comercialização, sistema de embalagem e armazenamento. As perdas e desperdício são sinônimos de falta de qualidade e devem ser evitados por meio de um planejamento adequado (SILVÉRIO; OLTRAMARI, 2014).

Segundo Cedes (2018), em seu estudo sobre desperdício, no Brasil, aproximadamente 26 milhões de toneladas de alimentos são desperdiçados anualmente, dos quais 5,3 milhões de toneladas são de frutas e 5,6 milhões de toneladas de hortaliças. Bueno (2019) sugeriu que alternativas na redução do descarte de alimentos deveriam ser mais difundidas não somente no Brasil, mas em todos os países do mundo, sobretudo nas localidades onde a geração de resíduos é mais concentrada, como capitais, regiões metropolitanas e estabelecimentos de produção e alimentação.

A qualidade de um fruto não é uma particularidade bem definida e sim, um conjunto de muitas propriedades ou aspectos do produto. A qualidade engloba propriedades sensoriais (aparência, firmeza, sabor, aroma), valor nutritivo e funcional, provenientes dos compostos químicos, propriedades mecânicas, como a ausência ou presença de defeitos. A qualidade

dos frutos, antes da colheita, bem como o conteúdo de compostos químicos, depende de fatores intrínsecos como gênero, espécie e cultivar, e extrínsecos, como tipo de solo, irrigação, nível de luz solar, espaçamento e manejo no controle de pragas e doenças (MOHAMMED, 2011).

A qualidade pode mudar com o armazenamento, a comercialização e a utilização do produto final (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A composição química depende de todos os fatores citados, bem como do estágio de maturação do fruto. A aplicação de medidas adequadas de técnicas e tratamentos pós-colheita é importante para manter a qualidade, em termos de aparência, textura, sabor e valor nutritivo, para manter a segurança alimentar e reduzir as perdas na cadeia de suprimentos e consequentemente prolongar a vida pós-colheita (ARPAIA; HOFSHI, 1998).

2.2. Conservação Pós-Colheita: Métodos para redução de perdas

A demanda pelo consumo de frutas e hortaliças tem levado à necessidade de técnicas de armazenamento pós-colheita que prolonguem a vida de prateleira e mantenham as qualidades sensoriais iniciais do produto (SÁNCHEZ et al., 2009). Muitos problemas relacionados com a perda acentuada de qualidade e deterioração dos alimentos são o resultado de danos sucessivos e cumulativos que estes sofrem durante todos os seus períodos de manuseio, armazenamento e transporte (CORTEZ et al., 2002).

O manuseio de frutas requer cuidados especiais em todas as etapas da cadeia de comercialização (desde o produtor até o consumidor). A rapidez com que amadurecem demanda tecnologia de manuseio especial. Para prolongar o período de armazenamento dos frutos é necessário utilizar técnicas de conservação que interfiram nos processos fisiológicos, reduzindo as taxas de transpiração e respiração, por meio da redução da temperatura, elevação da umidade relativa do ar, uso de aditivos na superfície e de embalagens adequadas, uma vez que a aparência é o critério mais utilizado pelo consumidor para avaliar a qualidade de frutas e hortaliças (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.2.1. Congelamento de alimentos

O congelamento é uma operação unitária que visa a extensão da vida de prateleira dos alimentos. Trata-se de um processo complexo em função do grande número de variáveis, e por envolver numerosos aspectos de engenharia. São vários os tipos de sistemas de

congelamento, classificados pela maneira na qual o produto se encontra em contato com o fluido refrigerante (SANTOS, 2005).

O congelamento é tido como um dos melhores métodos empregados para a conservação do produto, com transformações mínimas, preservando seu valor nutritivo e sensorial, além de outros fatores responsáveis pela qualidade do mesmo. É um processo que tem como propósito reduzir a temperatura do produto, minimizando as atividades microbianas e enzimáticas, retardando, desta forma, as taxas de deterioração e promovendo a extensão da vida útil (ASHRAE, 1998).

Contudo, é possível que o processo de congelamento altere as características químicas e nutricionais. Menores teores de antocianinas e maior resposta da capacidade antioxidante foram verificados em polpa de caqui congelada, quando comparada à fruta *in natura* (MENDONÇA et al., 2015). Em morangos congelados houve aumento nos teores de ácido ascórbico e redução no teor de sólidos solúveis (SS) (ANDRADE JÚNIOR et al., 2016). Outra pesquisa demonstrou que para o maracujá, o congelamento reduziu o teor de SS, mas não afetou os valores de acidez titulável e de pH (RINALDI et al., 2017). Apesar da influência do congelamento, as características químicas e nutricionais de frutas e hortaliças podem ser afetadas também por outros fatores. Exemplos são a cultivar, o tempo de armazenamento sob congelamento, o período de colheita e as condições climáticas durante a produção e o armazenamento (ANDRADE JÚNIOR et al., 2016).

O ponto inicial de congelamento dos alimentos é menor que o ponto de congelamento da água pura, devido a outras substâncias presentes no alimento. Nos alimentos, uma parte da água cristaliza e o restante forma uma solução mais concentrada. Assim, o ponto de congelamento da parte não congelada é reduzido. Como a temperatura continua diminuindo, a formação de cristais de gelo aumenta a concentração dos solutos na solução e reduz ainda mais a temperatura em que ocorre esta retirada do calor latente do alimento. Este fenômeno é denominado “depressão da temperatura de congelamento”, fazendo com que o congelamento do alimento não ocorra a uma determinada temperatura fixa, mas através de uma faixa de temperaturas. As frações de gelo e de água no alimento congelado são dependentes da temperatura (ASHRAE, 2002).

Os alimentos congelam-se dentro de uma grande faixa de temperatura, dependendo da concentração de sais e água em suspensão coloidal na célula. A velocidade de congelamento dependerá da quantidade de água livre presente na célula e da quantidade de sais dissolvidos (ROÇA, 1999).

O produto, até o início do congelamento, passa por algumas etapas. Inicialmente o

resfriamento, no qual o produto, a uma temperatura relativamente alta, se resfria até que se atinja a temperatura para o início da cristalização da água. Antes do congelamento, o calor sensível é removido para diminuir a temperatura do alimento até a temperatura inicial de congelamento (BECKER; FRICKE, 1999). A quantidade de água que permanece sem congelar e as temperaturas de congelamento dependem da composição do alimento e da temperatura de armazenamento (ASHRAE, 1998). O congelamento envolve o decréscimo da temperatura a níveis muito baixos, assim, ocorre a cristalização da água e dos solutos. Esses efeitos não ocorrem individualmente, mas simultaneamente (FELLOWS, 2006). O principal fator que influencia nas características do produto final é a velocidade do congelamento.

2.2.1.1. *Redução da temperatura sem mudança de fase*

Antes do congelamento, o produto passa pelo processo de resfriamento e, à medida que a amostra esfria, ela entra na região super-resfriada. Ao atingir certo grau de super-resfriamento, ocorre súbita nucleação de cristais de gelo, pela perda de calor sensível das moléculas de água. Os cristais de gelo iniciam o processo de formação, tornam-se mais compactos e sofrem a mudança de fase crítica, ou seja, a cristalização (MOK, et al., 2015).

A temperatura diminui gradativamente até que o ponto crítico de nucleação seja alcançado pela remoção do calor sensível. O calor sensível é removido para diminuir a temperatura do alimento até a temperatura inicial de congelamento, abaixo do ponto de congelamento da água, devido às substâncias dissolvidas nas soluções que formam o alimento (BECKER; FRICKE, 1999). Essa etapa reduz a temperatura abaixo do ponto de congelamento da água sem mudança de fase (COLLA; HERNÁNDEZ, 2003).

2.2.1.2. *Cristalização*

A cristalização é um importante fenômeno termo físico, através do qual uma substância precipita, devido ao super-resfriamento ou supersaturação. A cristalização é a formação de uma fase sólida organizada em uma solução (FENNEMA et al., 1973). O processo de cristalização envolve a nucleação e o crescimento de cristais. A etapa de nucleação é definida como a formação de um novo cristal e ocorre em solução sem cristal, que é chamada nucleação primária ou homogênea, ou na presença de cristais criados anteriormente, que são definidos como nucleação secundária ou heterogênea.

Após a formação dos núcleos, ocorre o crescimento do cristal. Os poucos cristais iniciais que aparecem no início da cristalização fornecem um modelo estrutural sobre o qual todo o material é depositado na forma de cristais. O crescimento dos cristais é simplesmente o alargamento dos núcleos formados na fase de nucleação, promovido pela adição de moléculas de água ao núcleo de cristalização, portanto, nucleação e cristalização ocorrem simultaneamente (COLLA; HERNÁNDEZ, 2003).

Quando se inicia o congelamento, parte da água livre cristaliza-se, ocasionando a concentração da solução restante e redução de seu ponto de congelamento. Com o contínuo decréscimo da temperatura, aumenta a formação de cristais de gelo, sendo a quantidade de gelo e água durante o congelamento, dependentes da temperatura (BECKER; FRICKE, 1999). Além disso, outros fatores afetam a formação e o crescimento dos cristais, incluindo concentração, temperatura, impurezas, transferência de massa e calor no sistema e as características particulares do material a ser cristalizado, que precisam ser consideradas ao lidar com o processo de cristalização (PRICE, 1997).

2.2.1.3. *Tempo de congelamento*

O tempo de congelamento pode ser definido como o tempo necessário para reduzir a temperatura do centro geométrico do alimento de uma temperatura inicial até uma temperatura final estabelecida. Portanto, é o tempo necessário para uma temperatura final ser atingida ou, o tempo para a temperatura central do alimento atingir uma temperatura desejada normalmente estabelecida em $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MARINI et al., 2014).

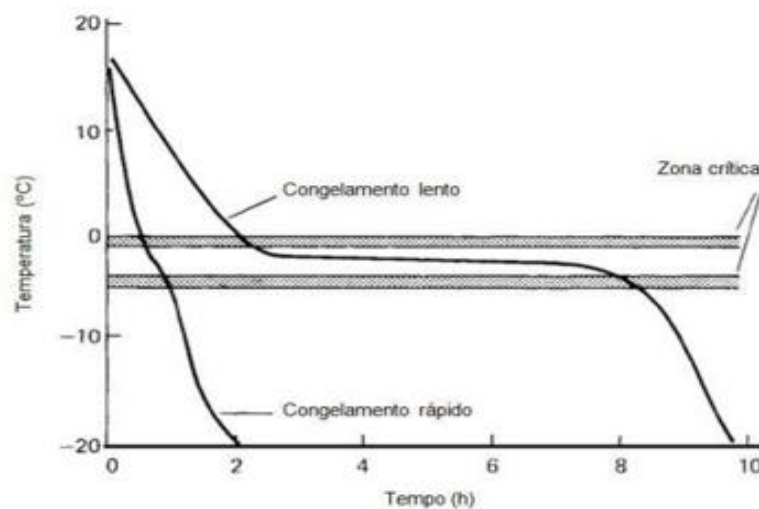
O tempo necessário para o alimento congelar por completo é inversamente proporcional à temperatura utilizada no processo. Dependendo da temperatura e de outras condições, o processo pode ser considerado lento ou rápido. O tempo de congelamento depende de outros fatores além da temperatura, como o tamanho, as propriedades do meio de resfriamento, a geometria do produto e a condutividade térmica do material da embalagem (SANTOS, 2005).

Devido à complexidade do processo de congelamento dos alimentos, fica muito difícil obter soluções analíticas exatas para o tempo de congelamento, pois na prática, os alimentos, geralmente, têm formato irregular com propriedades termo físicas dependentes da temperatura (ASHRAE, 2002).

2.2.1.4. *Tipos de congelamento*

Dois tipos de congelamento são conhecidos e as curvas de congelamento podem ser utilizadas para caracterizar o congelamento, como rápido ou lento, dependendo do perfil obtido com a curva (Figura 1) (CHEN; PAN, 1997).

Figura 1 - Curvas de congelamento em função do tempo que são típicas do congelamento rápido e do congelamento lento



Fonte: CHEN; PAN, 1997

As curvas apresentam perfis distintos entre os dois tipos de congelamento. A curva de congelamento lento permanece por mais tempo dentro de uma faixa chamada de zona crítica (0 a -5 °C) e, a curva de congelamento rápido, apresenta rapidamente pontos próximos da zona crítica com subsequente declínio brusco da temperatura (CHEN; PAN, 1997).

De acordo com Fellows (2000), o tempo que leva para um alimento sendo congelado passar pela zona crítica determina o número e o tamanho dos cristais e, conseqüentemente, o tipo de congelamento. No congelamento lento, a temperatura do produto vai decrescendo gradativamente até chegar ao valor desejado. Há formação de grandes cristais de gelo no interior das células e nos espaços intercelulares, devido à velocidade de formação do gelo ser menor que a migração de água no interior das fibras. Tais cristais atingem grandes dimensões devido à concentração de sólidos nos espaços intercelulares e do deslocamento da água do interior para fora das células, fenômeno responsável por alterações irreversíveis. Além disso, pode ocorrer o rompimento das

membranas celulares, o que colaborará para estas alterações, assim como oferecer um produto, após o descongelamento, com textura inferior à desejada e perda de elementos nutritivos (SINGH; HELDMAN, 1997). Cicala (2017) em seu estudo comparativo entre congelamento lento e rápido, observou que após submeter os alimentos a esses dois processos de congelamento e à análise de suas células ao microscópio óptico, afirmou que o congelamento lento causa um imenso dano à célula, após descongelada, devido aos cristais de gelo formados serem maiores. Em contraponto, no congelamento rápido, com a formação de cristais de gelo muito menores, o dano à estrutura celular do fruto é quase imperceptível.

No congelamento rápido ocorre redução brusca da temperatura, formando pequenas estruturas de gelo, uniformemente distribuídas, principalmente no interior da célula, o que é menos prejudicial ao alimento. Dessa forma, para se obter produtos de boa qualidade, a redução de sua temperatura deve ser rápida, o que pode ser viabilizado utilizando equipamentos com alta capacidade de refrigeração (ASHRAE, 1998). O método de congelamento rápido apresenta a vantagem tecnológica de manter com mais qualidade as características estruturais do produto quando descongelados. Tal fato ocorre pelo rápido congelamento da água presente nas regiões externas e internas das células, formando pequenos cristais de gelo que conservam melhor as células (ERICKSON; HUNG, 1997).

Em seu estudo, Amer e Rubiolo (1998), concluíram que o congelamento rápido preserva a qualidade, uma vez que seu uso leva à retenção de maior quantidade dos aromas voláteis que são perdidos durante o congelamento lento, além de menor fração de produto não congelado. O congelamento de alimentos pode ser classificado quanto à taxa de congelamento, considerando o tempo decorrido do início da etapa de congelamento até a redução da temperatura do produto em $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, como: lento (até $10\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$), comercial (entre 10 e $50\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$) e rápido (acima de $50\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$). Processos classificados como congelamento comercial ou congelamento rápido resultam em produtos de alta qualidade (DE PAULA GONÇALVES, 2021).

O ultra freezer é um equipamento de alta tecnologia que permite congelar alimentos de forma extremamente rápida e eficiente, utilizando temperaturas de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, conhecido também como ultracongelamento. Neste equipamento, há a redução brusca da temperatura, podendo chegar a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ em menos de uma hora. Este processo de congelamento rápido evita a formação de grandes cristais de gelo, permitindo descongelamento sem perda de líquidos e mantendo as características físicas e nutricionais do alimento praticamente intactas. No processo de ultracongelamento, a água contida nos alimentos se transforma em micro cristais quando comparados ao congelamento comum. Essa tecnologia garante alto padrão de

qualidade aos produtos, uma vez que preserva a textura, os nutrientes e o sabor (SIRIUS TECHNOLOGY, 2021). No processo de ultracongelamento há a inibição quase que imediata do crescimento bacteriano e reações químicas, preservando as características originais do alimento (SIRIUS TECHNOLOGY, 2021).

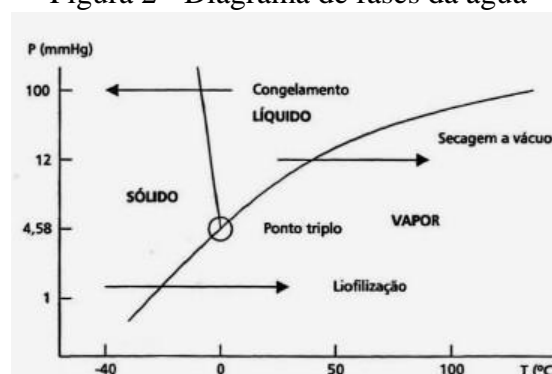
2.2.2. Liofilização

A operação unitária de liofilização é um processo de desidratação, no qual ocorre o congelamento e a remoção de determinado solvente, primeiramente por sublimação Figura 2 e *a posteriori* por dessorção. Usualmente, a perda de solvente deve ocorrer até que os valores de atividade de água impeçam a atividade biológica e/ou microbiológica no produto seco (VIEIRA et al., 2012).

Por definição, o processo consiste na remoção de cerca de 60 a 80% da água, através da sublimação, fazendo com que a atividade de água (A_w) do produto, tanto animal como vegetal, se reduza a ponto de inibir o crescimento de microrganismos, aumentando a vida de prateleira e a validade fora da refrigeração. Para que a característica de produto liofilizado se conserve, o mesmo deve ser armazenado em embalagem adequada, pois alimentos que passam por liofilização, normalmente, tem alta higroscopicidade, ou seja, facilidade em absorver umidade (OLIVEIRA, 2021).

O liofilizador, equipamento onde ocorre a liofilização, possui uma grande câmara de secagem e uma bomba a vácuo para a remoção de água. O processo se divide nas etapas de congelamento, sublimação (secagem primária) e dessorção (secagem secundária). Devido ao gasto de energia e tempo para que o processo ocorra, seu uso na indústria torna-se de maior custo, e por consequência, o produto apresenta-se mais valorizado comercialmente, com alto valor agregado (MARQUES; COSTA, 2015).

Figura 2 - Diagrama de fases da água



Fonte: OETTERER (2006)

É possível observar que em pressões superiores a 4,58 mmHg (Figura 2), ao aquecer um material congelado, a água contida em seu interior se fundirá e se tornará líquida, e quando aumentar o fornecimento de calor esse líquido evaporará. Em situações em que se fornece calor a um material a uma pressão inferior a 4,58 mmHg, a água desse material passará para o estado de vapor (sublimação). Na prática, os processos de liofilização procuram manter o material congelado em temperaturas abaixo de 0 °C (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

O congelamento é o primeiro estágio da liofilização e o mais importante, pois através desta etapa é possível definir o tamanho dos poros, sua forma e distribuição na camada seca da superfície liofilizada. Tem por objetivo imobilizar componentes contidos na solução e prevenir a formação de espumas quando aplicado o vácuo; reduzir a degradação dos componentes pelo calor e induzir determinada estrutura de cristais que facilitará ou inibirá a passagem de vapor do produto seco (MARQUES, 2008).

Na segunda etapa, o produto congelado já se encontra no liofilizador, dando início a fase de desidratação primária, na qual é aplicada pressão próxima a pressão de vapor do solvente utilizado (se o solvente for a água, a pressão aplicada tem que ser abaixo de 4,58 mmHg), resultando em produto estruturalmente seco e intacto. Nesta fase, é de suma importância o controle da pressão e da temperatura (JÚNIOR, 2020). Esta etapa é responsável por retirar 80 a 90% da umidade presente no alimento e, caso haja falha no processo e tenha presença de água na forma líquida, o produto pode apresentar formação de bolhas e sua aparência será comprometida (OLIVEIRA, 2021).

A secagem secundária, também chamada de dessorção, ocorre somente depois que todo o gelo foi retirado na etapa de liofilização, mas o alimento ainda continua retendo quantidade residual de água não livre (água ligada à estrutura do alimento) em sua forma líquida, cerca de 5 a 10% do total de água do material. Esse processo é possível mantendo o produto no liofilizador a uma temperatura que pode ir de 20 a 60°C e ainda sob vácuo, demorando em torno de duas a seis horas para ser concluído (KONIG 2016).

A liofilização em frutas é empregada como forma de melhorar a sua estabilidade, diminuindo a atividade de água, impedindo a degradação por microrganismos e retardando reações enzimáticas que ocorrem durante o armazenamento, evitando grande perdas pós-colheita.

Em seus estudos, Marques (2008) analisou as características de frutas tropicais liofilizadas sendo elas abacaxi, acerola, manga, mamão e goiaba, onde foi possível observar que as frutas liofilizadas detinham alto teor de vitamina C. O tipo de congelamento também

influenciou no teor de vitamina C, onde o congelamento ultrarrápido apresentou perda de 5%, já diretamente no freezer, a perda foi de 12,5%.

2.2.3. Relação entre o uso de cloreto de cálcio e resistência à compressão

A resistência à compressão é um dos atributos mais importantes utilizados para avaliar a qualidade de muitas frutas (MDITSHWA et al., 2017). Durante o armazenamento, a redução da resistência à compressão de frutos é um processo resultante de mudanças a nível morfológico e celular, como separação de componentes da parede celular e da redução da pressão de turgor, que decresce devido ao acúmulo de solutos na parede celular contribuindo para as mudanças texturais (PONCE et al., 2010).

A redução da firmeza de um fruto é atribuída à atividade das enzimas hidrolíticas, tais como a poligalacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME), que promovem uma solubilização intensa de pectina, resultando em redução da resistência com a maturidade (SILVA et al., 2009). A enzima PME tem ação sobre pectinas esterificadas (AWAD, 1993; GOMEZ-LIM, 1997); a enzima PG tem ação na liberação de unidades do ácido galacturônico das pectinas e, conseqüentemente, diminui a resistência do fruto (AWAD, 1993).

Estudos indicam que a atividade de PMEs facilita a atividade das PGs na parede celular de frutos. Alguns estudos demonstraram que a pressão de turgor celular é importante para determinar a resistência de frutos (VICENTE, et al., 2007). Entretanto, a redução no turgor não é uma consequência de perda da integridade da membrana. Durante a maturação, é mais provável que ocorra devido ao acúmulo de solutos (açúcares, ácidos orgânicos, íons, etc.) (ALMEIDA; HUBER, 1999).

Alternativamente, a regulação da transpiração da água no amadurecimento de frutos pode representar uma estratégia importante para prolongar a resistência (VICENTE, et al., 2007). A redução da resistência dos frutos do pomar até o consumidor caracteriza-se como um dos principais problemas enfrentados na pós-colheita (MDITSHWA et al., 2017). Estudos mostram que frutas são mais resistentes no estágio de maturação verde, com notável decréscimo quando maduras. Variedades com pouco volume de polpa exibem maior rigidez, com valores superiores de resistência mesmo maduras, quando comparada com variedades de maior volume de polpa (FIGUEIREDO NETO et al., 2014).

A firmeza permite a obtenção de dados sobre a resistência e consistência do tecido, através da compressão do fruto, um indicador da vida útil pós-colheita para frutos (MOURA

et al., 2007).

O cálcio é um elemento químico essencial para as plantas, uma vez que é divalente (Ca^{+2}) e requerido para as funções estruturais na parede celular e na membrana plasmática. Desde o Século XIX, esse nutriente tem sido apreciado como um ligante crucial na determinação da rigidez da parede celular vegetal (SCHULZ et al., 2013). O cálcio está diretamente relacionado à qualidade pós-colheita de frutos e hortaliças, uma vez que atua na regulação do amolecimento destes, formando pontes entre os ácidos pécnicos e polissacarídeos, o que confere resistência (LUNA-GUZMAN et al., 1999; LARA et al., 2004).

Essas pontes funcionam como sítios antisenescência e estabilizam a estrutura da parede e da membrana celular, o que dificulta o acesso e/ou interfere na atividade de enzimas hidrolíticas, como a pectinametilesterase (PME). Diante disto e na tentativa de manter a textura e a firmeza, retardar a senescência e reduzir a taxa respiratória e a produção de etileno de frutas e hortaliças, tem sido utilizada a aplicação de cloreto de cálcio (FIGUEIREDO et al., 2007).

A perda de firmeza trata de um processo natural do desenvolvimento de diversos frutos (SILVA et al., 2015). Devido ao aumento da atividade de enzimas que atuam na degradação da pectina, presente nas paredes celulares, tem essa atividade aumentada à medida que os frutos amadurecem. O transporte dos frutos, do local de colheita até o de armazenamento, quando ocorre de forma inapropriada, aumenta esse amolecimento e, conseqüentemente, a perda dos mesmos, contribuindo para aumentar as perdas na pós-colheita (MORAIS et al., 2010).

Trabalhos encontrados na literatura indicam que o tratamento com cálcio na pós-colheita tem sido efetivo em retardar a perda de firmeza em frutos climatéricos (maçã, goiaba e figo e em frutos não climatéricos, morango) (AL-ERYANIRAQEEB, 2008), mantendo a estrutura da célula pela interação de ácidos pécnicos presentes na parede celular com pectato de cálcio. Além do mais, formam ligações covalentes, carregadas com homogalacturonas, fortalecendo a ligação entre as paredes celulares (YAMAMOTO et al., 2011) com aumento significativo na vida útil desses produtos. Desse modo, por preservar a integridade da parede celular, vários trabalhos demonstram que o Ca_{2+} auxilia na redução da perda de qualidade pós-colheita de frutos.

Uma das várias formas diferentes de sal, o cloreto de cálcio é um sólido capaz de absorver grande quantidade de líquido. Existem muitos usos diferentes para este tipo de sal, incluindo diversas aplicações, como remoção de gelo de estradas e conservação de alimentos

enlatados comercialmente. Quando se trata de frutas e vegetais enlatados, o uso de cloreto de cálcio ajuda a manter os alimentos sólidos mesmo quando embalados em líquidos. O cloreto de cálcio é frequentemente usado como suplemento nutricional, estabilizador, espessante e texturizante em alimentos e, frequentemente encontrado em produtos de panificação, laticínios, bebidas, sucos, café, chá, condimentos, geleias, produtos de carne e outros produtos (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2022).

A aplicação de cálcio, tanto em pulverização nos frutos quanto infusão, resulta em preservação da firmeza do fruto, redução da respiração da taxa respiratória, redução da produção de etileno, menor atividade da β -galactosidase, aumento de hemicelulose, pectinas e cálcio na polpa. Segundo Rolle; Chism (1987), a presença de sais de cálcio no fruto implica em grandes vantagens como retardamento da respiração celular e aumento da firmeza. Lamikanra; Watson (2004) desenvolveram um experimento no qual frutos de melão foram mergulhados em solução de cálcio à baixa temperatura e obtiveram baixa respiração e menor perda de umidade, contribuindo para melhor tempo de armazenamento. Pulverizações e imersões de frutos em soluções de cloreto de cálcio retardam seu amaciamento e senescência em função do aumento do cálcio ligado à parede celular (SCALON, 1996).

2.2.4. Coloração da epiderme

A coloração é, geralmente, uma das características de qualidade mais atrativas para o consumidor e o impacto visual causado por ela é fator predominante na tomada de decisão para o consumo de frutos (BRUNINI et al., 2004). O valor de mercado das frutas está intimamente associado à pigmentação ou cor do fruto (MDITSHWA et al., 2017).

A alteração de cor da epiderme dos frutos está relacionada com o amadurecimento e representa característica padrão, juntamente com a firmeza, para a determinação da qualidade comestível, sendo ambos usados como indicadores de estágio de maturação (CHITARRA; CHITARRA, 2005). As mudanças de cores da epiderme dos frutos variam intensamente com as espécies e mesmo entre cultivares (COLLINS; PLUMBLY, 1995).

De acordo com Anese (2015), as frutas já possuem como característica coloração que atrai o consumidor, no entanto, é necessário valorizar isso, evidenciar para haver maior valorização e consumo. Dela Bruna (2019) concluiu que de forma geral, frutos colhidos mais verdes, apresentam baixa qualidade comercial após os dias de armazenagem, principalmente para coloração da epiderme, ruptura de casca e acidez titulável.

A coloração de frutos se deve aos pigmentos naturais existentes, sendo os três tipos

mais comuns nos vegetais a clorofila, os carotenoides e as antocianinas. A variação na cor entre as cultivares de uma mesma espécie é usualmente devido às diferenças nas quantidades desses pigmentos (SOUZA, 2007; KAYS, 1997).

2.2.5. *Colorimetria*

A cor pode ser definida como a propriedade dos corpos em absorver e refletir luz, e tem como atributos principais tonalidade, luminosidade e saturação. A percepção humana sobre as cores torna-se de caráter altamente subjetivo e pessoal, fazendo com que a sensação da cor seja única após complexas operações de recebimento registrado pela retina e processamento de estímulos recebidos pelo cérebro (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

A colorimetria, conhecida como a ciência da medição da cor, é utilizada no comércio, indústria e laboratório para expressar a cor de forma numérica de acordo com padrões normalizados internacionalmente, tornando a comunicação da cor mais simples e exata. Com o objetivo de normalizar a medição da cor, a Commission Internationale de L'Éclairage (CIE) ou Comissão Internacional de Iluminação define a sensação da cor baseada em três elementos, luminosidade ou claridade, tonalidade ou matiz e saturação ou cromaticidade. Por um consenso as especificações de padrões de observação para uso em colorimetria são todas providas pela CIE em todos os países (CIE, 2017).

Os parâmetros de cor indicam a luminosidade (L^*) com valor máximo de 100, e representa uma perfeita reflexão difusa, enquanto o valor mínimo é zero e constitui o preto, altos valores de L representam cores mais claras, e o oposto indica cores mais escuras. A tonalidade da amostra não apresenta limites numéricos específicos, porém toma-se como referência ($+a^*$ direção para o vermelho, $-a^*$ direção para o verde, $+b^*$ direção para o amarelo e b^* direção para o azul) (FERREIRA, 2017).

O croma (Cr) expressa a saturação ou intensidade da cor, a cromaticidade é calculada através da Equação 1. A saturação está ligada diretamente à concentração do corante e representa um atributo quantitativo para intensidade. Quanto maior o croma maior a saturação das cores perceptíveis aos humanos. Cores neutras possuem baixa saturação, enquanto cores puras possuem alta saturação e, portanto, mais brilhantes na percepção humana (PATHARE et al., 2013; SHEWFELT et al., 1988).

O ângulo hue (h°) é o ângulo do círculo, derivado dos valores de a^* e b^* o atributo qualitativo de cor com as cores definidas tradicionalmente como avermelhada, esverdeada,

indica a cor observável (PATHARE et al., 2013). Graficamente consideramos o ângulo de $0^\circ + a^*$ como a cor vermelha, o ângulo de $90^\circ + b^*$, amarelo, o ângulo de $180^\circ - a^*$, verde, e o ângulo de $270^\circ - b^*$, azul (SHEWFELT et al. 1988; MCGUIRE, 1992). Por meio do ângulo é possível comparar amostras, calculado com a Equação 2. Segundo estudos, visivelmente não ocorre variação significativa da cor da polpa dos frutos congelados durante o armazenamento (EMBRAPA, 2019).

$$Cr = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

$$^\circ h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

O colorímetro é um dos equipamentos mais comuns e apropriados para descrever numericamente a colorimetria e os elementos da composição de uma cor em superfícies (GONÇALEZ et al., 2001), separando as componentes RGB (Red, Green and Blue) da luz, funcionando de forma análoga ao sistema visual humano.

2.2.6. Reologia

Conceitualmente, reologia é o estudo do escoamento e da deformação da matéria, ou seja, o estudo do comportamento de fluidez, deformação e o escoamento de materiais, o modo como os materiais respondem à aplicação de uma tensão ou deformação. O conhecimento das propriedades reológicas de alimentos é muito importante para o projeto de tubulações e equipamentos, no controle de qualidade, no desenvolvimento de novos produtos, na aceitabilidade por parte do consumidor, bem como em um melhor entendimento do comportamento estrutural dos produtos (BARNES et al., 1989; SIEFFE, 1996).

Os alimentos são materiais mais complexos que podem se comportar como líquido ou sólido, dependendo da tensão aplicada e da escala de tempo do processo de deformação, sendo denominados materiais viscoelásticos. A análise de um material viscoelástico é simples quando a relação entre a tensão e a deformação é linear em qualquer instante ou frequência, sendo apenas função do tempo e independente da magnitude da tensão ou deformação aplicada (FERRY, 1980).

2.2.6.1. Comportamento reológico

Em função do comportamento reológico viscoso, os fluidos podem ser basicamente

classificados em Newtonianos e não-Newtonianos.

2.2.6.1.1. Fluido Newtoniano

Os fluidos newtonianos são aqueles em que a viscosidade não é afetada por mudanças da taxa de cisalhamento. Para um fluido newtoniano ideal, a tensão de cisalhamento é uma função linear da taxa de cisalhamento e a constante de proporcionalidade para esta relação é chamada de viscosidade newtoniana (SCHRAMM, 2006).

No fluido Newtoniano somente ocorrem efeitos de atrito mecânico e o valor da viscosidade caracteriza o fluido e esse valor não varia com a tensão aplicada (STEFFE, 1996). Líquidos simples (como a água), soluções de baixa massa molecular, dispersões diluídas e soluções poliméricas diluídas apresentam comportamento newtoniano (SHARMA et al. 2000). Todos os outros fluidos que não apresentam esse comportamento são chamados de não newtonianos.

A tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação, (Equação 3), de modo que a viscosidade do sistema independe da taxa de deformação aplicada. Os fluidos newtonianos são aqueles que obedecem à lei de Newton, escoam logo após a tensão ser aplicada e apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação (cisalhamento), caracterizando uma viscosidade constante para certas condições de temperatura e pressão. Alimentos como água, óleo de milho, suco de frutas clarificados, soluções de sacarose, bebidas alcoólicas, bebidas carbonatadas, entre outros, apresentam um comportamento newtoniano.

A Equação 3 é a representação matemática do comportamento reológico dos fluidos newtonianos (CHANG, 2016; STEFFE; DAUBERT, 2006; RAO, 1977).

De acordo com Freire (2012), a viscosidade deste segmento de fluidos é constante a uma dada temperatura e independente da taxa de deformação ao qual o líquido está submetido, seguindo a lei de Newton. Esta classe abrange todos os gases e líquidos não poliméricos e homogêneos (ex.: água, leite, soluções de sacarose, óleos vegetais).

$$T = \mu * \dot{\gamma} \quad (3)$$

Sendo: τ – Tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ – Taxa de cisalhamento/deformação (s^{-1})

μ – Viscosidade (Pa *s)

2.2.6.1.2. *Fluido não Newtoniano*

Os fluidos não Newtonianos podem ser divididos em pseudoplásticos, onde a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento e sua estrutura é recuperada quando a taxa de cisalhamento retorna a zero, e dilatante, em que a viscosidade aumenta com o aumento da taxa de cisalhamento. Fluidos não-Newtonianos não exibem um comportamento linear (Equação 4), pois sofrem influência da taxa de deformação, assim, denomina-se sua viscosidade como viscosidade aparente. São divididos em fluidos que independem do tempo, como pseudoplástico, dilatante, Bingham, entre outros, fluidos que dependem do tempo como tixotrópico e reopético e, ainda, os viscoelásticos que apresentam tanto propriedades viscosas como elásticas (RAO et al., 2005).

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (4)$$

Sendo: τ – Tensão de cisalhamento (Pa)

γ – Taxa de cisalhamento/ deformação (s^{-1})

η_{ap} – Viscosidade aparente (Pa * s)

Fluidos não newtonianos são caracterizados como todo o fluido cuja relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação não for linear e/ou não passar pela origem, podendo ser classificados como dependentes ou independentes do tempo.

No primeiro caso, dependente do tempo, a viscosidade aparente do fluido varia tanto com a taxa de deformação quanto com a duração de sua aplicação, podendo ser classificados como tixotrópicos e reopéticos. A redução da viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento, a uma condição constante de temperatura e taxa de deformação, caracteriza um material tixotrópico, enquanto fluidos que têm a sua viscosidade aparente aumentada com o tempo são denominados reopéticos (BARBOSA- CÁNOVAS et al.,1993).

2.2.6.1.2.1. *Fluidos não newtonianos independentes do tempo*

São aqueles dos quais as propriedades reológicas independem do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento (VIDAL, 2000).

2.2.6.1.2.1.1. Fluidos pseudoplásticos

Nesse grupo encontram-se a maioria dos fluidos de comportamento não Newtoniano (VIDAL, 2000). Não necessitam de uma tensão de cisalhamento inicial para começarem a escoar. Quando a viscosidade aparente diminui com o aumento da tensão de cisalhamento, independentemente do tempo de aplicação da força, tem-se um tipo de fluido que é chamado pseudoplástico e, ao cessar a causa deformante, o fluido volta a ter o valor de viscosidade inicial. Nesses fluidos, a taxa de cisalhamento versus a tensão de cisalhamento forma uma linha convexa. Quando em repouso esses apresentam um estado desordenado e quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada, maior será a ordenação, conseqüentemente, a viscosidade aparente será menor (IZIDORO, 2007).

De maneira geral, a maior parte dos alimentos mostra comportamento pseudoplástico e tixotrópico, ou seja, a viscosidade aparente diminui à medida que a taxa de deformação e o tempo de cisalhamento aumentam, devido à orientação das moléculas na direção do escoamento e à quebra de agregados, que tornam a resistência ao movimento cada vez menor (BARNES et al., 1989).

Estes fluidos, quando em repouso, apresentam estrutura desordenada, porém com aumento da taxa de cisalhamento, ela tende a se esticar e se orientar na direção da força aplicada. Na taxa de cisalhamento reduzida, o fluido pode se comportar de forma análoga a fluidos newtonianos. Quanto maior a taxa aplicada, maior será a ordenação e, conseqüentemente, menor será a viscosidade aparente. Emulsões, suspensões ou dispersões, creme de leite, purê de frutas e vegetais, mostarda francesa, são exemplos desse tipo de fluido (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977; SCHRAMM, 1998).

2.2.6.1.2.1.2. Fluidos dilatantes

Nos fluidos dilatantes, a viscosidade aparente aumenta com o aumento da tensão de cisalhamento. Esse tipo de fluxo somente é encontrado em líquidos que contém alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão, não necessitando de uma tensão de cisalhamento inicial para começarem a escoar (BOURNE, 1982).

Nos fluidos dilatantes, o aumento crescente da taxa de cisalhamento provoca o aumento da viscosidade aparente, tornando os fluidos rígidos devido a sua expansão ou dilatação. Citam-se méis de certas espécies de eucalipto e suspensões de amido

(CHHABRA; RICHARDSON, 2008; RAO et al., 2005).

2.2.6.1.2.1.3. Fluidos não Newtonianos Bingham

De acordo com Van Wazer et al. (1963), estes tipos de fluidos apresentam tensão de cisalhamento proporcional à taxa de cisalhamento, porém, necessitam de tensão de escoamento inicial para provocar o início do fluxo. Este tipo de fluido apresenta relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, a partir do momento em que se atinge tensão de cisalhamento inicial. Pasta de dentes, pasta de tomate, clara de ovo batida e glacê de bolo são exemplos alimentícios que exibem este comportamento (STEFFE, 1996).

2.2.6.1.2.1.4. Fluidos Não Newtonianos Hershell — Bulkley

Este tipo de fluido também necessita de uma tensão inicial para começar a escoar. Entretanto, a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não é linear. Esta relação depende do expoente adimensional, característico para cada fluido. Comumente utilizado para descrever o estado estacionário de substâncias como sangue, iogurte, purê de tomate, entre outras (LEITE, 2009).

2.2.6.1.2.2. Fluido Não Newtoniano dependentes do tempo

Os fluidos dependentes do tempo são aqueles cuja viscosidade sofre um aumento ou redução, conforme o tempo de fluxo sob condições constantes aumenta. Os fluidos tixotrópicos apresentam decréscimo da viscosidade aparente com o tempo de aplicação da tensão, quando a temperatura, a composição e a taxa de deformação são mantidas constantes. Já os fluidos reopéticos exibem o comportamento oposto, a viscosidade aparente aumenta com o tempo de tensão. Para ambos, a estrutura do material sofre mudança contínua, que esta pode ser reversível ou não (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2003).

Para o comportamento tixotrópico tem-se como exemplo de produtos alimentícios o leite condensado, maionese e clara de ovo. Dispersões de amido de milho gelatinizado é um exemplo de alimento com comportamento reopético (RAO et al., 2005).

2.2.6.1.2.2.1. Tixotropia

São os fluidos que decrescem a viscosidade com o tempo enquanto são submetidos a uma tensão de cisalhamento constante. Uma importante característica dos materiais tixotrópicos é a sua sempre possível reversibilidade, cuja viscosidade aparente de um material, em estado gel, diminui quando submetido a uma taxa de cisalhamento constante, partindo assim para o estado sólido, contudo, tal viscosidade aparente é recuperada se um tempo de relaxamento for oferecido ao material. Geralmente, em fluidos tixotrópicos, as moléculas são unidas por ligações de hidrogênio ou ligações iônicas, onde estas podem se romper facilmente quando submetidas a um período de tempo longo à taxa de deformação constante, porém, estes fluidos serão definidos pelo potencial de ter sua estrutura reformada quando o mesmo é submetido ao repouso. Em alguns casos, como em iogurtes, uma vez destruída sua estrutura orgânica, nunca será reconstruída, ou seja, são não reversíveis (SCHRAMM, 1998).

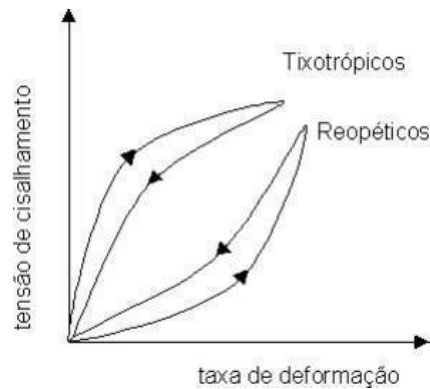
A tixotropia, tem-se os sistemas cuja viscosidade diminui com o tempo para uma taxa de cisalhamento constante e aumenta quando esta taxa de cisalhamento diminui por recuperação estrutural do material (reversível). Como exemplo, observa-se suspensões concentradas, emulsões, soluções proteicas, petróleo cru, tintas, ketchup, entre outros (FREIRE, 2012).

2.2.6.1.2.2.2. Reopexia

Os fluidos aumentam a viscosidade com o tempo a uma taxa de cisalhamento constante. A tixotropia e a reopexia podem ocorrer em combinação com as diferentes qualidades de estado do campo de escoamento. Já este tipo de fluido (reopexia) apresenta um comportamento inverso ao dos tixotrópicos (Figura 3). Desta forma, a viscosidade destes fluidos aumenta com o tempo de aplicação da tensão, retornando à viscosidade inicial quando esta força cessa (LEITE, 2009).

Trata daqueles que apresentam aumento da viscosidade com o tempo quando submetidos à deformação constante. Seu valor retorna ao inicial quando a deformação é interrompida, tendo também comportamento reversível. Como um exemplo desses fluidos tem-se a argila bentonita (FREIRE, 2012).

Figura 3 - Curvas de escoamento de fluidos não newtonianos de propriedades dependentes do tempo de cisalhamento



Fonte: Google, 2021

2.2.6.1.2.3. Fluidos não Newtonianos viscoelásticos

Materiais viscoelásticos surgem a partir de uma combinação de sistemas elásticos e viscosos. São fluidos que possuem características de líquidos viscosos com propriedades elásticas e de sólidos com propriedades viscosas, ou seja, possuem propriedades elásticas e viscosas acopladas. Estas substâncias, quando submetidas à tensão de cisalhamento, sofrem uma deformação e quando esta cessa, ocorre certa recuperação da deformação sofrida (comportamento elástico). Como exemplos de produtos alimentícios temos creme de marshmallow, massa de pão e manteiga de amendoim (RAO et al., 2005).

Os fluidos viscoelásticos possuem uma memória, ou seja, após sofrerem alguma perturbação, eles tenderão a voltar ao seu lugar de “conforto”. Para entender, pode-se pensar em uma mola quando é alongada e que após ser solta volta para sua posição inicial. Nos fluidos viscoelásticos ocorre a mesma situação, porém, o retorno para essa posição não sucede de maneira perfeita, já que não é um material elástico perfeito (COSTA, 2017). Segundo Freire (2012), os fluidos viscoelásticos são fluidos que possuem características de líquidos viscosos com propriedades elásticas e de sólidos com propriedades viscosas, ou seja, possuem propriedades elásticas e viscosas acopladas. Estas substâncias quando submetidas à tensão de cisalhamento sofrem uma deformação e quando esta cessa, ocorre uma certa recuperação da deformação sofrida.

A determinação da elasticidade é dada por diferentes parâmetros, dependendo dos diferentes tipos de escoamento a que o fluido será submetido. Os líquidos viscosos não possuem forma geométrica definida e escoam irreversivelmente quando submetidos a forças externas. Como exemplo, tem-se as massas de farinha de trigo, gelatinas, queijos, líquidos poliméricos, glicerina, plasma, biopolímeros, ácido hialurônico, saliva, goma xantana (FREIRE, 2012).

2.2.7. *Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)*

A principal função de qualquer microscópio é tornar visível ao olho humano o que for muito pequeno para tal. A forma mais antiga e usual é a lupa, seguida do microscópio óptico, que ilumina o objeto com luz visível ou luz ultravioleta (KESRENBACHK, 1994).

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) permite a observação e caracterização de materiais heterogêneos, inorgânicos e orgânicos da escala nanométrica até escala micrométrica. A área a ser examinada ou o micro volume a ser analisado é irradiado por um raio de elétron, o qual pode ser varrido através da superfície do espécime para formar imagens ou estático para obter análises em uma dada posição (RESENDE, 2011).

Sua grande vantagem quando comparado com a técnica de microscopia óptica é a sua alta resolução. Por MEV se consegue obter uma impressão sobre a estrutura tridimensional que não é possível por microscopia óptica (RESENDE, 2011). A MEV tem sido amplamente usada para estudar a microestrutura de produtos alimentícios. Para seu estudo, procedimentos de preparação das amostras requerem desidratação, liofilização ou exposição a fixadores (RESENDE, 2011).

A MEV tem sido bastante aplicada para avaliar os efeitos do congelamento e armazenamento congelado sobre a microestrutura de alimentos. Esta técnica tem sido usada para observar a formação de cristais e a nucleação de gelo (RESENDE, 2011).

A MEV pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. Sua utilização é comum em biologia, odontologia, farmácia, engenharia, química, metalurgia, física, medicina e geologia (DEDAVID et al., 2007).

Por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV), pode-se verificar o efeito do congelamento e da secagem por liofilização sobre a conformação das microestruturas. Em estudo sobre pós de araçá, Melo (2020) observou grânulos com formação esférica, além de reentrâncias com depressões provocadas pela retirada de água durante o processo de liofilização, semelhantes às encontradas por Ribeiro (2018), que avaliou o pó liofilizado de polpa de acerola.

Segundo Brito (2014), em seu estudo sobre microestruturas dos cristais de gelo da água disponível da polpa de limão, após o congelamento, os cristais de gelo apresentaram estruturas com ramificações semelhantes à de uma árvore, caracterizada como dendrítica, presente na grande maioria dos processos de solidificação. A microestrutura da polpa congelada de limão evidenciou a formação de grandes cristais de gelo nos espaços

intercelulares, decorrente da baixa taxa de congelamento ($-20 \pm 2^\circ\text{C}$) (BRITO et. al., 2014). Segundo Rocha et al. (2003), o espaçamento dendrítico é inversamente proporcional à velocidade de resfriamento, pois quanto maior for essa velocidade, mais refinada será a microestrutura.

Pode-se ressaltar que a velocidade de congelamento é reconhecida como um dos fatores responsáveis pela manutenção das características microestruturais do produto congelado, já que os fenômenos de nucleação e crescimento de estruturas dendríticas ocorrem ao longo da evolução do processo. Além da dinâmica do processo de congelamento, os aspectos como heterogeneidade da composição química e concentrações dos componentes envolvidos também estão relacionados à intensidade do crescimento do cristal (BRITO et. al., 2014).

2.2.8. Características físico-químicas

As propriedades sensoriais de diferentes frutos estão fortemente relacionadas aos teores de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e a relação SS/AT (MAGWAZA; OPARA, 2015). É comumente conhecido que ocorre a perda de acidez com o amadurecimento dos frutos. O teor de SS é utilizado como medida indireta do conteúdo de açúcares, pois seu valor aumenta à medida que a concentração de açúcares aumenta no fruto. Apesar dos açúcares representarem aproximadamente 85 a 90% do SS, outras substâncias também se encontram dissolvidas no suco como vitaminas, fenólicos, pectinas, ácidos orgânicos, entre outras (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O aumento do SS e redução da AT resulta em aumento na razão SS/AT, a qual está associada à aceitação dos frutos pelo consumidor e é altamente influenciada pelo genótipo (FIGUEIREDO, 2000). Estudos mostram que a melhor aceitação dos frutos pelos consumidores é durante o processo de amadurecimento (NASSER; ZONTA, 2014), podendo-se afirmar que o teor de SS muda em relação ao estágio de maturação das frutas, ou seja, à medida que a fruta passa pelos diferentes estágios de maturação, a composição de açúcares aumenta, portanto, são esperadas leituras de sólidos solúveis maiores no final da maturação do que no início (HANNA instruments, 2020).

Flores Cantillano (2015), em estudo de minimamente processados refrigerados afirma que durante o amadurecimento dos frutos ocorre a diminuição da acidez dos mesmos e conseqüente aumento do pH dos frutos. Freitas et. al. (2016) realizaram análise do tomate

italiano e caqui nos três estádios de maturação para avaliar a existência de diferenças entre as espécies. Os resultados mostraram aumento nos valores do pH, conforme o processo de amadurecimento. De forma geral, esse comportamento se aplica a todas as frutas.

2.3. Acerola

Os frutos da aceroleira (*Malpighia glabra*) representam um componente muito importante para a alimentação humana, devido ao seu alto teor de vitamina C, o que impulsionou a disseminação do seu cultivo em várias partes do mundo. A acerola apresenta várias alternativas de aproveitamento, o que viabiliza diferentes possibilidades de mercado, como a comercialização de frutos *in natura*, a produção de sucos, geleias e sorvetes e a extração do ácido ascórbico como matéria-prima para a indústria farmacêutica e elaboração de outros produtos (SANTOS, 2016).

A acerola *in natura* aparenta formato redondo, oval ou achatado, com diâmetro de 1 a 3 centímetros e peso entre 3 e 16 g. Os frutos possuem epicarpo (casca) fina, mesocarpo (polpa) carnosa, suculenta, azeda ou subácida, e endocarpo de três caroços triangulares, dando ao fruto um aspecto mais ou menos trilobado (RIBEIRO, 2017).

Outra característica física importante é a cor da casca, além de ser um dos elementos determinantes da aceitação dessa fruta pelo consumidor, as variações na coloração da acerola indicam a evolução da maturação. Dessa forma, o fruto apresenta tonalidade verde intenso no início da maturação, passando para verde-claro; em seguida, vermelho, atingindo até 25% da sua superfície, avançando para até 75% dessa superfície vermelha, depois todo o fruto vermelho e finalmente, vermelho intenso (CALGARO et. al., 2012).

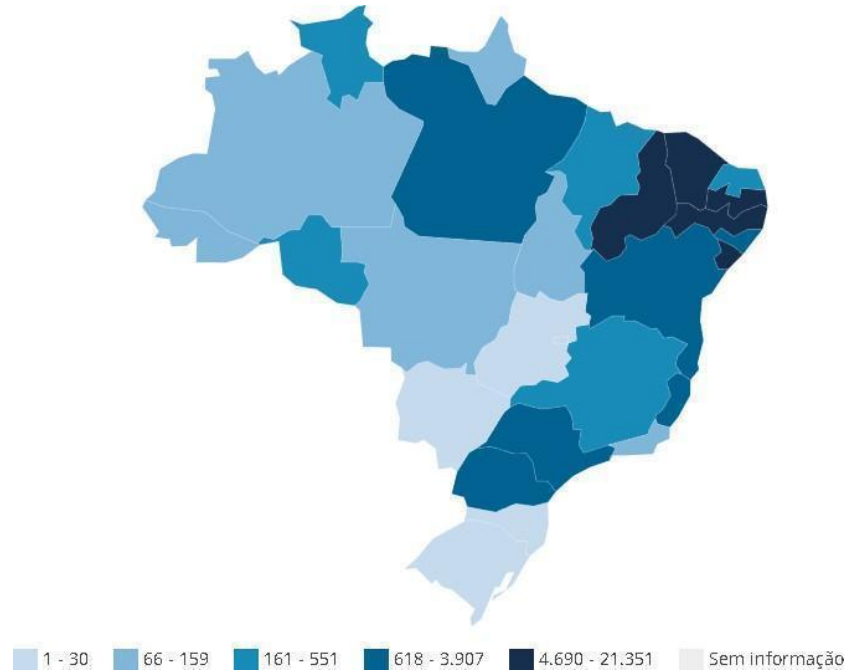
A comercialização de acerola no mercado interno apresenta a seguinte distribuição: 46% destinam-se à indústria de processamento e 54% destinam-se ao mercado de consumo da fruta fresca. A acerola é produzida o ano inteiro no Nordeste, devido ao clima quente, mas o auge de sua safra é entre setembro e outubro, quando começa a esquentar nas demais regiões, impulsionando a oferta (SOUZA, 2018).

Segundo o censo agropecuário apresentado pelo IBGE (2017), estima-se que o Brasil tem uma área plantada de, aproximadamente, 5.753 hectares, de aceroleira, com uma produtividade média de 60.966 toneladas de frutas por ano, sendo a região Nordeste responsável por grande parte da produção nacional. A produção na região Nordeste corresponde a cerca de 79% desse total, com uma área em torno de 4.042 hectares plantada com acerola (Figura 4). Os principais estados produtores são Pernambuco, que representa

(36%) da produção nacional, seguido pelo Ceará (13%), Sergipe (9%), e Paraíba (9%).

O ranking dos dez maiores produtores de acerola segundo dados do IBGE (2017) são Pernambuco, Ceará, Sergipe, Paraíba, Piauí, São Paulo, Pará, Paraná, Bahia e Espírito Santo. Na produção nacional de acerola, Goiás ocupa o lugar de menor destaque, produzindo apenas 15 toneladas por ano. A Tabela 1 mostra alguns Estados e sua produção anual.

Figura 4 - Cartograma - Acerola: Quantidade produzida no Brasil em toneladas



Fonte: IBGE (2017)

Tabela 1: Acerola produzida nos estados Brasileiros (Em toneladas)

<i>Estado</i>	<i>Quantidade produzida (Toneladas)</i>
<i>Acre</i>	66
<i>Alagoas</i>	618
<i>Amapá</i>	155
<i>Amazonas</i>	159
<i>Bahia</i>	2.023
<i>Ceará</i>	7.578
<i>Distrito Federal</i>	30
<i>Espírito Santo</i>	915
<i>Goiás</i>	15
<i>Maranhão</i>	444
<i>Mato Grosso</i>	104
<i>Mato Grosso do Sul</i>	1
<i>Minas Gerais</i>	338

<i>Paraná</i>	3.286
<i>Paraíba</i>	4.925
<i>Pará</i>	3.695
<i>Pernambuco</i>	21.351
<i>Piauí</i>	4.690
<i>Rio Grande do Norte</i>	551
<i>Rio Grande do Sul</i>	7
<i>Rio de Janeiro</i>	123
<i>Rondônia</i>	292
<i>Roraima</i>	161
<i>Santa Catarina</i>	9
<i>Sergipe</i>	5.427
<i>São Paulo</i>	3.907
<i>Tocantins</i>	96

Fonte: IBGE (2017)

Além da importância para a alimentação, as frutas também impactam a sociedade e a economia. Em termos de economia, o Brasil produz aproximadamente 45 milhões de toneladas de frutas tropicais por ano, ocupando o terceiro lugar entre os maiores produtores mundiais (GORAYEB et al., 2019).

Numa escala mundial, o Brasil se encontra em 3º lugar no ranking de produção de frutas, por apresentar uma grande diversidade tanto de frutas frescas como processadas (ALAMAR et al., 2016), com aproximadamente 45 milhões de toneladas por ano, dos quais 65% são vendidos no mercado interno e 35% no mercado externo (EMBRAPA, 2019).

A comercialização e consumo de acerola *in natura* é limitado por sua alta perecibilidade, apresentando altas taxas respiratórias que são possivelmente responsáveis pela curta vida pós-colheita. Por esse motivo, grande parte da produção de acerola é comercializada como polpa congelada ou utilizada para a extração de ácido ascórbico que pode chegar a 5% no suco, representando aproximadamente 80 vezes as concentrações encontradas em frutos cítricos (CUNHA et al., 2014; ANCOS et al., 2016).

O potencial de armazenamento e a qualidade dos frutos para o consumo *in natura* é dependente do estágio de maturação na colheita (BRAMAN; AHMAD; SIDDIQUI, 2015), entre outros fatores. Para acerolas, é bastante difícil determinar o ponto de colheita adequado, já que a floração acontece em etapas, levando a flores e frutos em diversos estágios de desenvolvimento em uma mesma planta (EMBRAPA, 2012). No entanto, a definição do estágio de maturação para colheita deve levar em consideração a qualidade dos

frutos e o tempo necessário para que cheguem ao mercado consumidor (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

O armazenamento a baixas temperaturas é um dos métodos mais efetivos e práticos utilizados para prolongar a vida pós-colheita de frutos. Baixas temperaturas diminuem a taxa respiratória, a perda de água e retardam o amadurecimento, assim como diminuem a incidência de microrganismos (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Dessa forma, minimiza perdas, mantém a qualidade e prolonga a vida pós-colheita dos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). No entanto, temperaturas abaixo da temperatura ideal podem causar injúria por frio nos frutos (CRISOSTO; MITCHELL; JU, 1999).

Frutos tropicais são geralmente suscetíveis à injúria por frio (MUSTAFA et al., 2016), que ocasionam uma série de modificações no metabolismo normal dos frutos, reduzindo a sua qualidade (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

A aceroleira é um arbusto de pequeno porte que pode atingir de 3 a 4 metros de altura. De acordo com a descrição de Araújo e Minamo (1994), a casca do caule e dos ramos é levemente rugosa, de cor marrom. As folhas são simples, inteiras, opostas, de pecíolo curto e forma que varia de oval a elíptica, coloração variada entre genótipos, de branca a diferentes tonalidades de rosa (RITZINGER 2011). A Tabela 2 apresenta a composição, por 100g, da acerola *in natura*.

Tabela 2: Composição por 100g de acerola *in natura*

COMPONENTES	
Energia (kcal)	33,5
Proteína (g)	0,9
Lipídeos (g)	0,2
Carboidratos (g)	8,0
Fibra alimentar (g)	1,5
Cálcio (mg)	12,6
Ferro (mg)	0,2
Fósforo (mg)	9,2
Potássio (mg)	165,0
Manganês (mg)	0,1
Magnésio (mg)	13,1
Niacina (mg)	1,4
Zinco (mg)	0,2
Vitamina c (mg)	941,4

Fonte: Taco, (2011)

Dentre os componentes da Tabela 2, o destaque vai para o alto teor de vitamina C e potássio. O peso da acerola madura varia de 2 a 16 g e o diâmetro entre 1 e 2,5 cm

(NOGUEIRA, 2002). A variação na cor durante o amadurecimento dos frutos da aceroleira é devida a degradação da clorofila que torna visíveis pigmentos pré-existentes e/ou síntese de novos pigmentos como antocianinas e carotenoides, sendo o processo de degradação da clorofila causado pelas enzimas clorofilase, lipoxigenase e peroxidase (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Quase sempre a cor é o primeiro atributo que leva ao consumidor aceitar ou rejeitar um produto alimentício qualquer. Conforme Alves (1996), a coloração comercial da acerola é vermelha. Além da coloração, o pH é o método mais viável para determinar a qualidade de produtos, no qual os alimentos podem ser classificados como de baixa acidez ($\text{pH} > 4,5$), ácidos ($\text{pH} < 4,5$) ou muito ácidos ($\text{pH} < 4,0$). O fruto da aceroleira é um fruto muito ácido com pH variando entre 2,5 e 3,9 (LIMA et al., 2002). Os sólidos solúveis presentes no fruto representam os compostos que são solúveis em água. Segundo Nogueira et al. (2002), os conteúdos de sólidos solúveis são mais elevados na acerola madura variando desde 3,7 a 14,1 °Brix, porém, podem ser reduzidos pela chuva ou irrigação excessiva, em virtude da diluição do suco celular.

Para a acerola, o armazenamento dos frutos durante 3 dias na temperatura de 30 °C já resulta em danos. Em temperaturas superiores a 20 °C, mas inferiores a 30 °C, os frutos podem ser conservados por apenas 3 dias sem sinais de danos. Quando o armazenamento é realizado a temperaturas de 5 °C, a vida útil da acerola passa a ser de onze dias, no máximo, pois o armazenamento prolongado, a essa temperatura, causa sintomas de danos por frio, expresso principalmente por descoloração da casca. Assim, a temperatura de armazenamento que permite melhor conservação da fruta fresca é 8°C. Quando mantida nessa temperatura, a vida útil dos frutos pode se estender a treze dias, para alguns genótipos. Outro componente importante que precisa ser considerado, durante o armazenamento, é a umidade relativa. A acerola, sendo altamente suscetível à perda de peso, se for mantida em umidade relativa inferior a 85%, facilmente expõe sintomas de enrugamento. Além da alta suscetibilidade à perda de peso, durante o armazenamento refrigerado, as acerolas também se mostram pouco resistentes a patógenos e tendem a perder o brilho da casca (CAVALCANTI, 2008).

2.4. Jabuticaba

Dentre as espécies nativas de importância no Brasil, destaca-se a jabuticabeira (*Myrciaria sp*) à qual é encontrada em extensa faixa do país, desde o Pará até o Rio Grande

do Sul e em outros países como Bolívia, Argentina, Uruguai e Peru (ASCHERI, ASCHERI, CARVALHO, 2006).

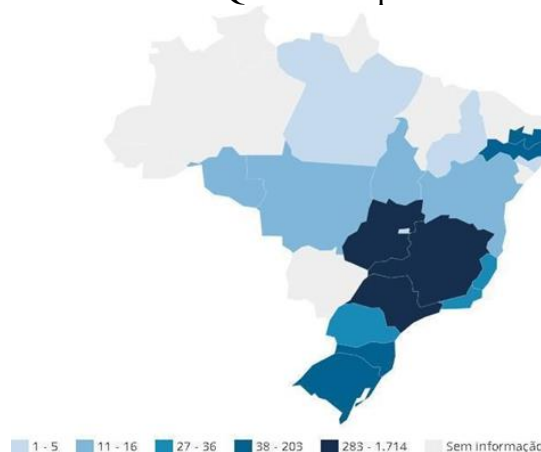
Sua produção ocorre, geralmente, uma vez ao ano, durante um período de aproximadamente três meses. Porém, a jabuticaba é uma fruta altamente perecível e apresenta período de três dias, após a colheita, para utilização, o que dificulta sua comercialização *in natura*. Essa deterioração é resultado do desenvolvimento de microrganismos, atividade enzimática e reações químicas que interferem na qualidade final do fruto e eleva as perdas pós-colheita (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Segundo o censo agropecuário apresentado pelo IBGE (2017), estima-se que o Brasil tem uma área plantada de, aproximadamente, 572 hectares de jabuticabeiras, com produtividade média de 3.751 toneladas de frutas por ano, sendo Goiás (46%), São Paulo (31%) e Minas Gerais (8%) os responsáveis por grande parte da produção nacional (Figura 5) (IBGE, 2017).

O ranking dos dez maiores produtores de jabuticaba, segundo dados do IBGE (2017) são Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Paraíba, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Pernambuco, Paraná, Rio de Janeiro e Espírito Santo (Figura 6). Na produção nacional de jabuticaba, Goiás ocupa o lugar de maior destaque, produzindo 1.714 toneladas por ano. A Tabela 3 mostra a produção anual de alguns Estados.

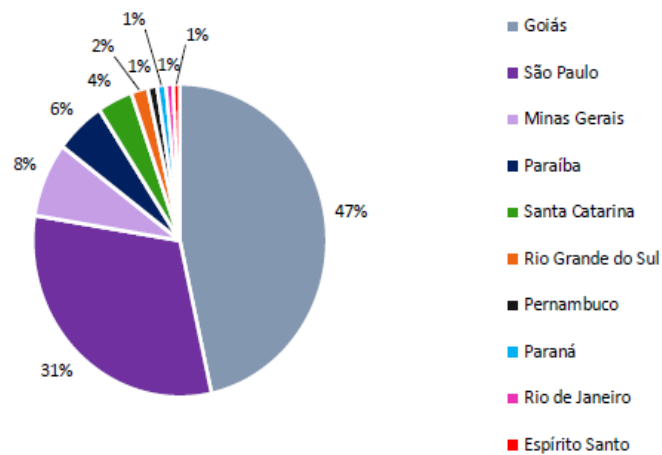
O Estado de Goiás ocupa o primeiro lugar na produção nacional de jabuticaba, sendo o destaque de produção o município de Hidrolândia que possui mais de 150 produtores rurais que exploram, comercialmente, o fruto com mais de 50 mil pés desta fruta (GARCIA, 2014). O município de Hidrolândia é uma cidade do interior de Goiás, localizada a aproximadamente 37 km de Goiânia, a capital do Estado. Em Goiás, a produção quase que total do estado é oriunda da cidade de Hidrolândia.

Figura 5 - Cartograma - Jabuticaba: Quantidade produzida no Brasil em toneladas



Fonte: IBGE (2017)

Figura 6 - Ranking dez maiores Estados brasileiros produtores de Jabuticaba em toneladas



Fonte: IBGE (2017)

Tabela 3: Produção anual de jabuticaba produzida nos estados Brasileiros (Em toneladas)

<i>Estado</i>	<i>Quantidade produzida (Toneladas)</i>
<i>Alagoas</i>	1
<i>Bahia</i>	11
<i>Distrito Federal</i>	4
<i>Espírito Santo</i>	27
<i>Goiás</i>	1.714
<i>Mato Grosso</i>	16
<i>Minas Gerais</i>	283
<i>Paraná</i>	36
<i>Paraíba</i>	203
<i>Pará</i>	5
<i>Pernambuco</i>	38
<i>Piauí</i>	1
<i>Rio Grande do Sul</i>	68
<i>Rio de Janeiro</i>	29
<i>Rondônia</i>	11
<i>Santa Catarina</i>	142
<i>São Paulo</i>	1.143
<i>Tocantins</i>	13

Fonte: IBGE (2017)

Dentre os municípios de Goiás, Aragoiânia, Goiânia e Hidrolândia possuem registro de produção. Os demais municípios não apresentam valores de produção na plataforma de dados e, considerando os municípios em que o volume de produção é conhecido, Hidrolândia é responsável por quase 99% da produção de jabuticaba do Estado

de Goiás (IBGE, 2017).

Apesar da grande produção, a jabuticaba possui alta perecibilidade, com o manuseio inadequado dos frutos durante a colheita. O transporte e o armazenamento, contribuem para a elevada perda dos frutos. Logo, a industrialização destes para a obtenção de doces em massa e em pasta, polpas, geleias, bebidas fermentadas, vinagres, licores, compotas, sucos, néctares, xaropes concentrados para refrigerantes, entre outros, são alternativas para reduzir as perdas que ocorrem por ocasião das grandes safras, quando as frutas alcançam preços muito baixos no mercado de fruta fresca (GARCIA, 2017). Além disso, os frutos podem ser aproveitados não só pela indústria alimentícia, mas também pela farmacêutica, devido a seu alto teor de substâncias antioxidantes.

A *Myrciaria cauliflora*, também conhecida como jabuticabeira, pertence à família *Myrtaceae*, é uma árvore frutífera, com altura entre dez a quinze metros, com tronco liso e ramificado (FLORA, 2015).

A florada, branca vai de junho a agosto após a polinização, as flores gradativamente vão sendo substituídas por pequenos frutos verdes, esféricos, que se tornam vermelhos e depois negros, quando completamente amadurecidos. A frutificação acontece nos meses de setembro, outubro e novembro. A jabuticabeira tem frutos pequenos, de casca negra e polpa branca aderida à única semente, crescem no tronco e ramos, dando uma característica peculiar à árvore (FLORA, 2015).

Os frutos apresentam-se sob a forma globosa, com até 3 cm de diâmetro, casca avermelhada, quase preta, polpa esbranquiçada, mucilaginosa, agri-doce, saborosa, comumente com única semente, mas podendo apresentar até quatro (Figura 7) (LIMA et al., 2008).

Figura 7 - Jabuticaba *in natura*



Do Autor - 2022

Os frutos apresentam casca brilhante e fina, que se rompe facilmente evidenciando a polpa branca. Os frutos geralmente são consumidos *in natura*, mas podem ser usados para o preparo de sucos, licores, aguardentes, vinagres e doces. As safras de jabuticaba são proporcionalmente abundantes às chuvas que acompanham o amadurecimento dos frutos. A jabuticaba é um fruto tropical que apresenta alto valor sensorial e nutricional, uma vez que apresenta elevado teor de açúcares, fibras, sais minerais como cálcio e fósforo; a Tabela 4 apresenta a composição, por 100g, da jabuticaba *in natura* (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006). É uma planta de origem subtropical, mas também adaptada ao clima tropical, no entanto não tolera geada intensa. A jabuticabeira desenvolve-se bem em solos férteis, profundos e com bom suprimento de água o ano todo, principalmente nos períodos de floração e frutificação (SUGUINO et al., 2012).

Tabela 4: Composição por 100g de jabuticaba *in natura*

COMPONENTES	
Teor de umidade (%)	83,60
Energia (kcal)	58,00
Proteína (g)	0,60
Lipídeos (g)	0,10
Carboidratos (g)	15,30
Fibra alimentar (g)	2,30
Cinzas (g)	0,40
Cálcio (mg)	8,00
Ferro (mg)	0,10
Fósforo (mg)	15,00
Potássio (mg)	130,00
Vitamina c (mg)	16,20

Fonte: Taco, (2011)

Na jabuticaba, o componente de maior destaque é o potássio; os valores para pH variam entre 2,9 até 4 e o teor de sólidos solúveis (°Brix) varia entre 11,5 a 17,9 a depender do grau de maturação da fruta (OLIVEIRA, 2003). Duarte et al. (1996) citaram que a melhor temperatura de armazenamento para jabuticaba é 12 °C e umidade relativa de 80%, pois pode manter a qualidade dos frutos e estender a vida útil; temperaturas inferiores podem ocasionar a injúria pelo frio e superiores aumentam a taxa respiratória, reduzindo a vida útil da fruta.

A caracterização física e química, durante os estádios de desenvolvimento, pode ser usada para identificar o ponto ótimo de colheita, quando os componentes químicos e

funcionais da fruta são maximizados; o último estágio é o ideal para a colheita, antes o fruto ainda não atingiu o desenvolvimento completo (NEVES et al., 2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Obtenção das frutas

As acerolas foram adquiridas na Ceasa de Goiânia — GO e as jaboticabas foram adquiridas de vendedores do distrito de Hidrolândia, estado de Goiás. As frutas foram transportadas para a Planta Piloto de Processamento de Vegetais, do Departamento de Engenharia de Alimentos, da Escola de Agronomia, da Universidade Federal de Goiás em Goiânia. Em seguida, foram selecionadas, lavadas em água corrente e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 15 minutos.

3.2. Preparo das amostras

As frutas (jaboticaba e acerola) foram separadas de acordo com cada tratamento e codificadas conforme Tabela 5.

Tabela 5: Tratamento e abreviação utilizados para identificar a acerola e jaboticaba durante o experimento

Tratamento	Abreviação
Congelamento lento com cloreto de cálcio	CLCC
Congelamento lento sem cloreto de cálcio	CLSC
Congelamento rápido com cloreto de cálcio	CRCC
Congelamento rápido sem cloreto de cálcio	CRSC
Congelamento lento sem cloreto de cálcio e liofilização	CLSCL
Congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização	CLCCL
Congelamento rápido sem cloreto de cálcio e liofilização	CRSCL
Congelamento rápido com cloreto de cálcio e liofilização	CRCCCL
Acerola refrigerada (Controle)	AR
Jaboticaba refrigerada (Controle)	JR
Acerola temperatura ambiente	ATA
Jaboticaba temperatura ambiente	JTA

As frutas, após a sanitização, foram secas (com papel toalha), acondicionadas em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade e levadas ao Freezer Electrolux F 25 a temperatura de - 20°C (tratamentos submetidos ao congelamento lento) e ultra freezer

ColdLab CL 374-80V a temperatura de -80°C (tratamentos submetidos ao congelamento rápido) sem a infusão em cloreto de cálcio, sendo estes os tratamentos em que o único meio de conservação foi o congelamento.

No tratamento controle, a amostra foi apenas refrigerada na temperatura de 8°C por 24 horas.

Algumas amostras foram submetidas ao pré-tratamento por infusão em solução de cloreto de cálcio, antes do congelamento, após a sanitização e secagem com papel toalha. As frutas foram imersas em solução de cloreto de cálcio a 1% por 3 minutos para a acerola (MIGUEL, 2007) e a 4% por 60 minutos para a jabuticaba (GARCIA, 2017). As frutas foram secas (com papel toalha), embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade e levadas ao freezer convencional a -20°C (tratamentos submetidos ao congelamento lento) e ao ultrafreezer a -80°C (tratamentos submetidos ao congelamento rápido).

Após os tratamentos de congelamento lento e rápido, com e sem pré-tratamento com cloreto de cálcio, algumas amostras foram liofilizadas em liofilizador Thermo Electron Corporation modelo ModulyoD freeze dryer por 88 horas. A acerola foi liofilizada inteira e a jabuticaba dividida em duas partes iguais, devido a espessura da casca, para agilizar o processo. Este método combinou o congelamento, infusão ou não em cloreto de cálcio e liofilização.

3.3. Análise físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos, do Departamento de Engenharia de Alimentos, da Escola de Agronomia, da Universidade Federal de Goiás. Análises de sólidos solúveis, acidez titulável e pH foram realizadas por métodos convencionais, a partir da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2019), em 12 repetições para todas as amostras à temperatura ambiente. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de médias Tukey ($p < 0,05$) e os resultados expressos em média e desvio padrão. O programa estatístico Sisvar versão 5.6 foi utilizado nas análises estatísticas.

3.3.1. Sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis das amostras foi determinado a 25°C , usando refratômetro analógico (ATAGO - hand refractometer TECNAL). Os resultados foram expressos em Brix.

3.3.2. *Potencial Hidrogeniônico (pH)*

A determinação do pH foi realizada utilizando-se potenciômetro digital (pH Meter HI - 98165). O aparelho foi calibrado com solução tampão de pH 4,0 e 7,0 antes de se realizar a leitura direta do pH com imersão do eletrodo na amostra macerada em solução aquosa.

3.3.3. *Acidez titulável*

A acidez titulável foi determinada por titulação, usando como indicador a fenolftaleína a 1%. Foram realizadas 12 leituras para cada tratamento. A polpa (5 mL) foi diluída em 45 mL de água destilada e titulada com solução de NaOH (0,1 mol.L⁻¹) até atingir o ponto de viragem (pH 8,1 - 8,3). O resultado foi expresso em g/100g de ácido cítrico.

3.4. *Resistência à compressão*

A firmeza, resistência à compressão, foi determinada usando texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, Inglaterra) com a probe P/2 para analisar a força de penetração, com velocidades de pré-teste, teste e pós-teste de 2 mm/s, 2 mm/s e 10 mm/s, respectivamente. A distância de penetração foi de 8 mm para a jabuticaba e 4 mm para a acerola, sendo estes valores previamente fixados. As frutas foram congeladas em freezer (congelamento lento) e ultra freezer (congelamento rápido) por 24 horas, após esse período foram descongeladas sob refrigeração por 24 horas. A firmeza foi expressa em Newton (N). Foram realizadas 12 leituras para cada tratamento.

3.5. *Colorimetria*

Para a análise de colorimetria, as amostras dos tratamentos que estavam congelados foram previamente descongeladas à temperatura ambiente. A determinação da cor foi realizada por meio da leitura de três parâmetros L*, a* e b* obtidos pelo colorímetro (Hunterlab, ColorQuest XE). O parâmetro L* define a luminosidade (L* = 0 preto e L*= 100 branco), a* e b* definem a cromaticidade (+a* intensidade da cor vermelho e -a* intensidade da cor verde, +b* intensidade da cor amarela e -b* intensidade da cor azul). Os

parâmetros de cor foram determinados usando-se o software do equipamento. As leituras foram realizadas em triplicata. Também foi calculado o índice croma (Cr), considerado atributo quantitativo de cor (Equação 1 – item 2.2.5.) e °hue, considerado o atributo qualitativo de cor (Equação 2 - item 2.2.5.). Os resultados foram obtidos em radianos e, posteriormente, transformado para graus através do programa Excel.

3.6. Comportamento Reológico

Para a análise de reologia, os tratamentos que estavam congelados foram previamente descongelados à temperatura ambiente e os tratamentos liofilizados, reconstituídos em água à temperatura ambiente por uma hora para reidratação. Foi extraído da jabuticaba o suco sem nenhuma diluição, e com o menor número de partículas possível a fim de evitar interferências. Por não ser possível extrair o extrato da acerola, sem a diluição com água, não foi possível determinar o comportamento reológico desta. O estudo do comportamento reológico dos extratos de jabuticaba foi realizado a temperatura de 20 °C, utilizando-se o Reômetro (Anton Paar - Physica MCR 101 Ostfildern, Alemanha), computadorizado. Para a realização do experimento utilizou-se volume de 15 mL para cada amostra por repetição. Para quebrar a tixotropia, eliminando a influência do tempo no comportamento do escoamento das amostras, cada amostra foi submetida a uma rampa contínua de taxa de deformação na faixa de 0,1 a 500 s⁻¹, durante 5 minutos para a curva ascendente e 5 minutos para a curva descendente. Após este procedimento, gerou-se a curva de fluxo, para a caracterização reológica de cada amostra, por meio da aplicação de uma curva de escoamento, variando-se a taxa de deformação de 0,1 a 500 s⁻¹, durante um período de 5 minutos a 20 °C, usando probe CP- 50, gap 0,101 mm varredura linear e leituras realizadas em triplicata para cada tratamento. Os dados experimentais das curvas de fluxo (tensão de cisalhamento versus taxa de deformação) foram ajustados aos modelos Lei de Newton (Equação 5), Lei da Potência (Equação 6) e modelo de *Herschell-Buckley* (Equação 7). O pacote estatístico SAS University Edition (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) foi utilizado nas análises estatísticas. Os gráficos foram gerados usando o software Sigma Plot versão 11 (Systat Software, Inc., San Jose, EUA).

$$\sigma = \mu\dot{\gamma} \quad (5)$$

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad (6)$$

$$\sigma = \sigma_o + k_H\dot{\gamma}^{n_H} \quad (7)$$

Onde σ é a tensão de cisalhamento (Pa), μ é a viscosidade, σ_o é a tensão de cisalhamento inicial (Pa), k é o índice de consistência (Pa.sⁿ), k_H é o índice de consistência Herschel-Bulkley (Pa .sⁿ), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s⁻¹), n é o índice de comportamento do fluxo (adimensional) e n_H o índice de comportamento do fluxo Herschel-Bulkley (adimensional).

3.7. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

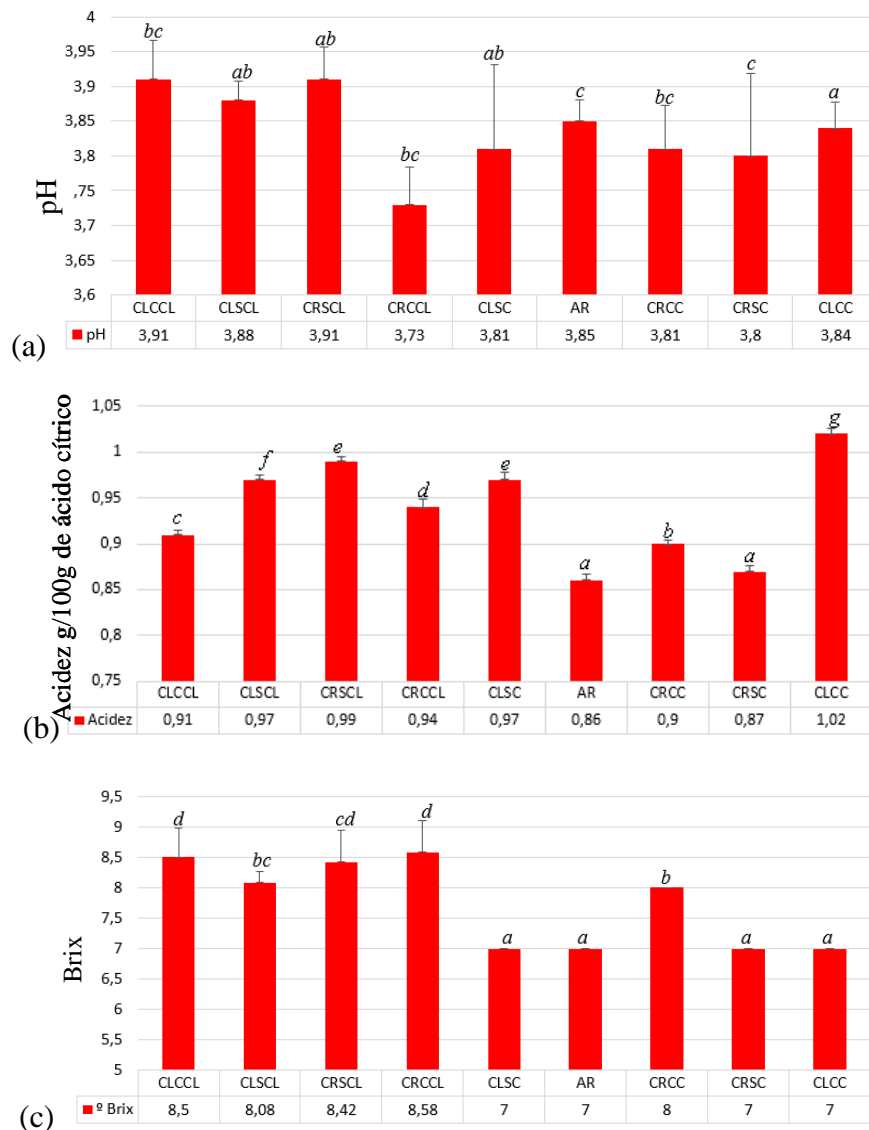
As amostras de acerola e jaboticabas liofilizadas foram analisadas quanto a sua microestrutura no Laboratório Multiusuário de Microscopia da Universidade Federal de Goiás (UFG), por meio da técnica Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O microscópio de alta resolução com diferentes ampliações (40, 200 e 1000 vezes) no equipamento de modelo JSM-6610/ Jeo1 R, equipado com EDS, Thermo Scientific NSS Spectral Imaging e voltagem de feixe elétrons de 8 kV foi utilizado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros físico químicos, resistência a compressão, colorimetria e MEV – Acerola

As análises físico-químicas realizadas na acerola estão apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Resultados de (a) Potencial Hidrogeniônico (pH), (b) Acidez Titulável e (c) Teores de Sólidos Solúveis nos tratamentos com acerola congelada, submetidas a diferentes tratamentos.



CLCCL – congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização; CLSCL – Congelamento lento sem cloreto de cálcio e liofilização; CRSCL – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio e liofilização; CRCLL – Congelamento rápido com cloreto de cálcio e liofilização; CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; AR – Controle (Acerola refrigerada); CRCC – Congelamento rápido com cloreto de

cálcio; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio.

*Amostras com letras iguais não apresentam diferença significativa com 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os valores obtidos de pH classificam a acerola como fruta ácida, com variação de 3,7 - 3,9, acima do limite mínimo (2,8) estabelecido pelos padrões de identidade e qualidade (PIQ) (BRASIL, 2018) para polpa congelada. Os maiores valores de pH foram para CLCCL e CRSC (3,9) atribuídos ao grau de maturação próximos, comparado com as demais amostras. O menor valor foi de (3,7) na CRCCL (Figura 8a).

Temóteo (2012) obteve pH de 3,9 para a polpa de acerola comercializada em Maceió-Alagoas. Segundo Do Nascimento (2018), em estudo sobre polpas de acerola congeladas industriais e artesanais, os valores para pH apresentaram variação de 3,2 a 3,5, tendo como média 3,3, não apresentando diferenças significativas quando comparadas com as polpas artesanais. No trabalho de Santos et al. (2020), ao avaliarem acerola (*Malpighia emarginata*) refrigerada, sob atmosfera modificada e no de Nasser (2018), ao avaliar a composição da acerola de diferentes genótipos em duas épocas de colheita, encontraram valores de pH acima do valor mínimo, semelhante a este trabalho.

De acordo com Chin (2013), os frutos carnosos como acerola, no estágio de desenvolvimento maduro, têm como característica comum a riqueza em açúcares e acidez relativamente alta. Os ácidos orgânicos contribuem para a acidez e o aroma característico dos frutos (KAYS, 1991).

Os valores de acidez, de todos os tratamentos, apresentaram diferenças significativas, exceto para o controle (AR) 0,86 e (CRSC) 0,87, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si, mas diferiram dos demais. Estas foram as amostras com menor acidez dentre as estudadas e os tratamentos (CLSC) 0,97 e (CRSCL) 0,99 não diferiram estatisticamente entre si, mas diferiram dos demais. Todas as outras amostras apresentaram diferenças significativas, sendo a maior acidez de 1,02 observada para o CLCC (Figura 8b).

Faraoni (2012) obteve 0,90 g/100g de acidez titulável para acerola, já Temóteo (2012) a acidez titulável da acerola foi de 0,94 g/100g. Nasser (2018) apresentou maior variação na acidez (0,70 - 1,38) para esse mesmo fruto. Maciel et al. (2010) analisaram teores de acidez entre diferentes genótipos e a variação da acidez foi de 1,97 a 0,96 g/100g. A acidez é um parâmetro relevante na avaliação do estado de conservação de um produto

alimentício (CASTRO et al., 2015). As concentrações dos íons de hidrogênio são alteradas devido ao processo de decomposição do alimento realizado por fermentação, hidrólise ou oxidação tendo como consequência a sua acidez (AROUCHA et al., 2010). Com o processo de maturação do fruto, a acidez geralmente é reduzida, vindo a influenciar o odor, sabor, cor, manutenção de qualidade e estabilidade (PEREIRA et al., 2006).

Os valores de sólidos solúveis variaram de 7,0 a 8,6 ° brix, que estão dentro dos padrões de identidade e qualidade (PIQ), mínimo de 5,0 °Brix de suco de frutas (BRASIL, 2018). As amostras (AR, CLSC, CRSC e CLCC) não apresentaram diferenças estatísticas em nível de 5% de significância entre si, mas diferem das demais apresentando os menores valores SS (7,0 °Brix). As amostras liofilizadas, CRCCL (8,6° brix) e CLCCL (8,5° brix), não diferem entre si, mas diferem das demais, apresentando os maiores valores de SS visto que a liofilização remove a água e concentra os açúcares.

Urbano et al. (2011), em estudo sobre polpa de acerola congelada, obtiveram média de sólidos solúveis entre 6,2 a 8,2 °Brix. Nasser et al. (2018) estudaram a composição da acerola de diferentes genótipos em duas épocas de colheita e obtiveram valores de sólidos solúveis entre 6,5 a 8,3 °Brix que são valores próximos aos obtidos neste estudo. Santos (2020) estudou a caracterização da conservação refrigerada da acerola, sob atmosfera modificada, e obteve teor de SS (°Brix) entre 6,7 e 8,9 também em uma faixa de valores muito próximos ao deste estudo.

De forma semelhante aos resultados obtidos para pH, o aumento da acidez está relacionado com a perda de água na amostra e a concentração dos compostos provocada pelo processo. Observou-se que a acidez titulável para as amostras liofilizadas foi maior do que no controle, o que garante o sabor ácido característico do fruto.

Os tratamentos nos quais a acerola foi liofilizada apresentaram os maiores valores de SS (°Brix) (Figura 8c). Além do tamanho e grau de maturação dos frutos que foram selecionados da forma mais uniforme possível, a liofilização retira a água e concentra os sólidos solúveis. A composição química da acerola depende do estágio de maturação do fruto e outras características como peso e tamanho dos frutos (NOGUEIRA et al., 2002).

Dos Santos et al. (2020) realizaram estudo comparativo entre frutas *in natura* e liofilizadas, mostrando que essa tecnologia aumenta a concentração de sólidos solúveis. De acordo com Oliveira et al. (2011), a forma *in natura* dos frutos apresenta teor de açúcar de até 11,17% e a liofilizada ocorre incremento de quase cinco vezes (51,99%). O acréscimo no teor de sólidos solúveis pode ser explicado pela maior concentração de açúcares no fruto liofilizado. A redução no teor de água do fruto é acompanhada pela maior concentração de

açúcares e, em consequência, maior concentração também de sólidos solúveis.

A relação sólido solúvel (SS)/acidez titulável (AT) (Tabela 6) representa um índice que pode indicar o amadurecimento do fruto, determinando o sabor destes, uma vez que é a relação entre os açúcares solúveis, ou seja, a doçura e a quantidade de ácidos livres presentes nas frutas, quanto maior a valor entre a razão SS/AT, mais doces serão as frutas.

Tabela 6: Relação sólidos solúveis e acidez titulável para as amostras de acerola submetidas aos diferentes tratamentos

Amostras	SS/AT
AR	8,16 ^b
CLSC	7,19 ^a
CRSC	8,04 ^b
CLCC	6,83 ^a
CRCC	8,91 ^{de}
CLCCL	9,90 ^f
CLSCL	8,11 ^{bc}
CRSCL	9,13 ^{cd}
CRCCCL	9,63 ^{ef}

AR – Controle (Acerola refrigerada); CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio; CLCCL – congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização; CLSCL – Congelamento lento sem cloreto de cálcio e liofilização; CRSCL – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio e liofilização; CRCCCL – Congelamento rápido com cloreto de cálcio e liofilização;

* Amostras com letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As amostras CLSC (7,19) e CLCC (6,83) não apresentaram diferença estatística entre si, mas diferiram das demais amostras, apresentando os menores valores, indicando menor grau de doçura para estes tratamentos. As amostras CRCCCL (9,63) e CLCCL (9,90) não diferem entre si, mas diferem dos demais, apresentando maior doçura, ou seja, frutas no melhor estágio de maturação. Baseado na razão entre SS e AT, os demais valores, estão na média de doçura.

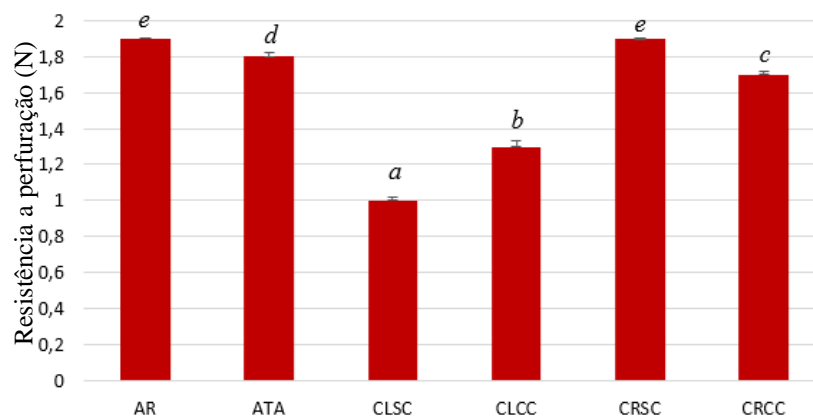
O tratamento CRCCL apresentou melhor conservação dos parâmetros estudados, apesar do menor valor de pH (3,7), mas dentro do limite mínimo estabelecido (2,8), e maior teor de SS (8,6), resultando na melhor razão entre sólidos solúveis e acidez (9,6), conferindo a este tratamento melhor grau de doçura. A combinação de congelamento rápido, infusão em cloreto de cálcio e liofilização apresentou resultados satisfatórios.

Conegero et al. (2015) avaliaram o congelamento lento e rápido sobre a polpa de acerola liofilizada em pó e concluíram que a velocidade de congelamento não interferiu na maioria dos parâmetros avaliados, o inverso ocorre na acerola liofilizada inteira, ou seja, a velocidade de congelamento interferiu diretamente nos resultados, sendo o congelamento rápido mais eficiente. Com relação ao cloreto de cálcio, segundo Freire Júnior e Chitarra (1999), em seu estudo sobre efeito da aplicação do cloreto de cálcio nos frutos da manga ‘Tommy Atkins’, a aplicação de cloreto de cálcio é viável e mostra bons resultados. Diversos estudos confirmam que a liofilização concentra o teor de sólidos solúveis das frutas, logo, a combinação destes três métodos de conservação se mostrou eficiente na redução de perdas de qualidade de parâmetros físico-químicos da acerola.

Resistência à compressão - Acerola

A perda da firmeza dos produtos vegetais, após o congelamento, é decorrente das modificações na estrutura da parede celular pelas degradações da celulose, hemicelulose e pectinas das paredes celulares. A adição de cloreto de cálcio e manutenção de baixas temperaturas (-20°C e -80°C) representa alternativa para minimizar o amaciamento dos tecidos. A Figura 9 apresenta os resultados da perfuração dos frutos da acerola em seus diferentes tratamentos.

Figura 9 - Resistência a compressão (perfuração) das amostras de acerola submetidas a diferentes tratamentos



AR – Controle (Acerola refrigerada); ATA – Acerola temperatura ambiente; CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio.

* Amostras com letras iguais não apresentam diferença significativa a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

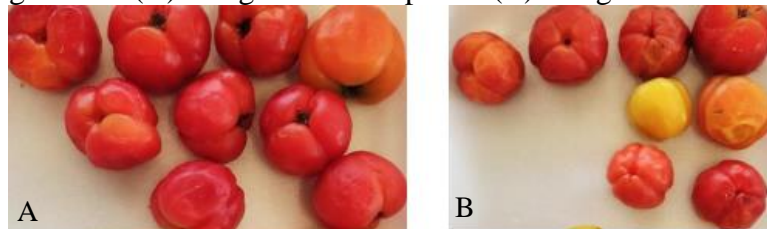
Os maiores valores de resistência à compressão foram, em ordem decrescente, para os tratamentos AR (controle) e CRSC (1,9 N), ATA (1,8 N), CRCC (1,7 N), CLCC (1,3 N) e CLSC (1,0 N).

Segundo Silva (2014), em seu estudo sobre pós-colheita de mamão, de modo geral, mostrou que a firmeza do fruto diminuiu com o amadurecimento e a aplicação de CaCl_2 , melhora na firmeza do fruto em até 85,0%.

Como observado nos resultados do presente trabalho, o tratamento em pós-colheita com cálcio tem sido bastante efetivo em retardar a perda de firmeza em frutos como manga (TAAIN et al., 2011), goiaba (WERNER et al., 2009) e maçã (HUSSAIN et al., 2012). Esses resultados podem ser justificados pela presença do cálcio, pois ele possui um importante papel na estabilização da parede celular vegetal.

Observou-se que de modo geral, a imersão em cloreto de cálcio não foi efetiva para a acerola e o que de fato diferenciou o valor da força de perfuração foi o tipo de congelamento. A Figura 10 mostra fotografias dos dois tipos de congelamento.

Figura 10 - (A) Congelamento rápido e (B) Congelamento lento



Do autor - 2022

O congelamento lento, por degradar mais as células, apresentou menor resistência à perfuração se comparado ao congelamento rápido. Comparando os tratamentos CLSC (1,0 N) e CLCC (1,3 N), ambos foram congelados lentamente, mas a amostra que recebeu o tratamento por infusão em cloreto de cálcio se apresentou mais firme que a amostra sob as mesmas condições de temperatura sem a infusão em cloreto de cálcio.

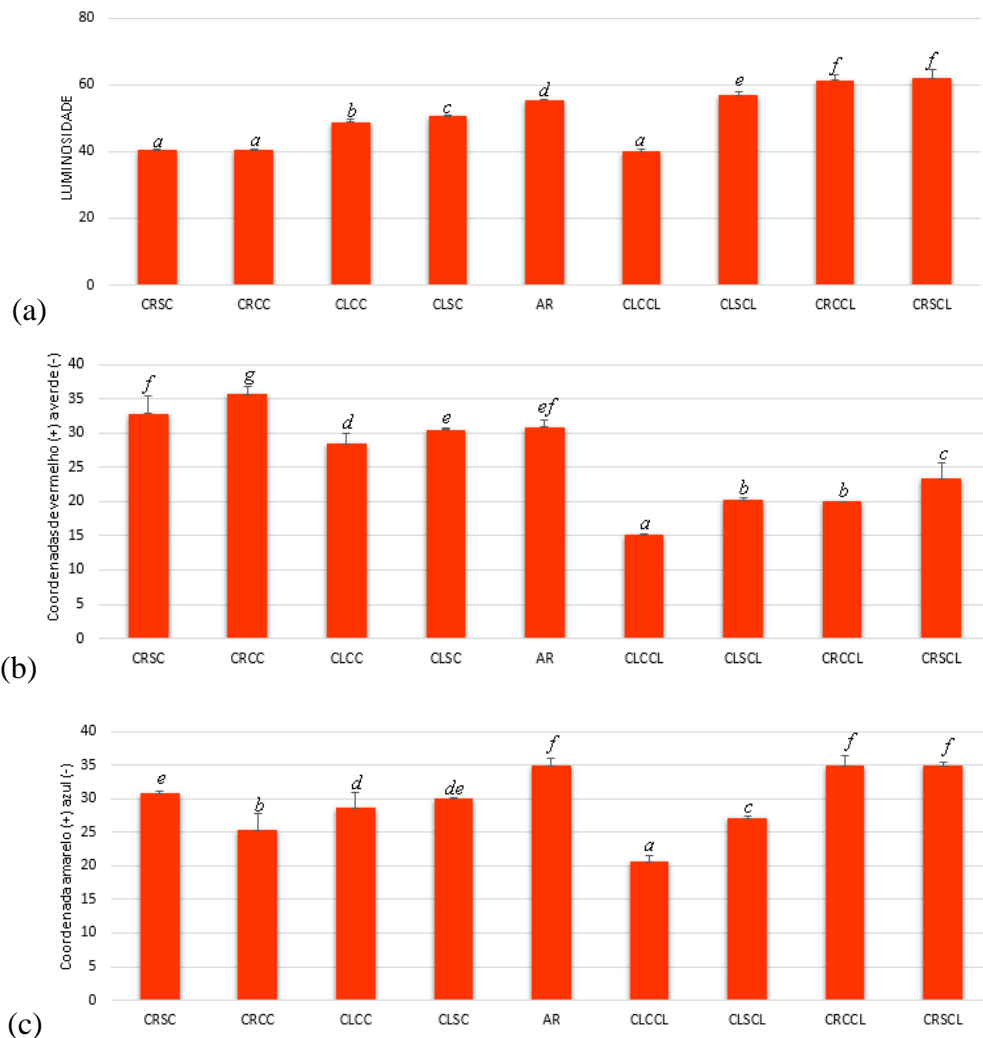
Estatisticamente, todos os tratamentos diferem entre si, exceto o controle submetido apenas a refrigeração e CRSC, este último apresentou características textuométricas mais próximas do fruto com menor grau de maturação, maior firmeza. Além do grau de

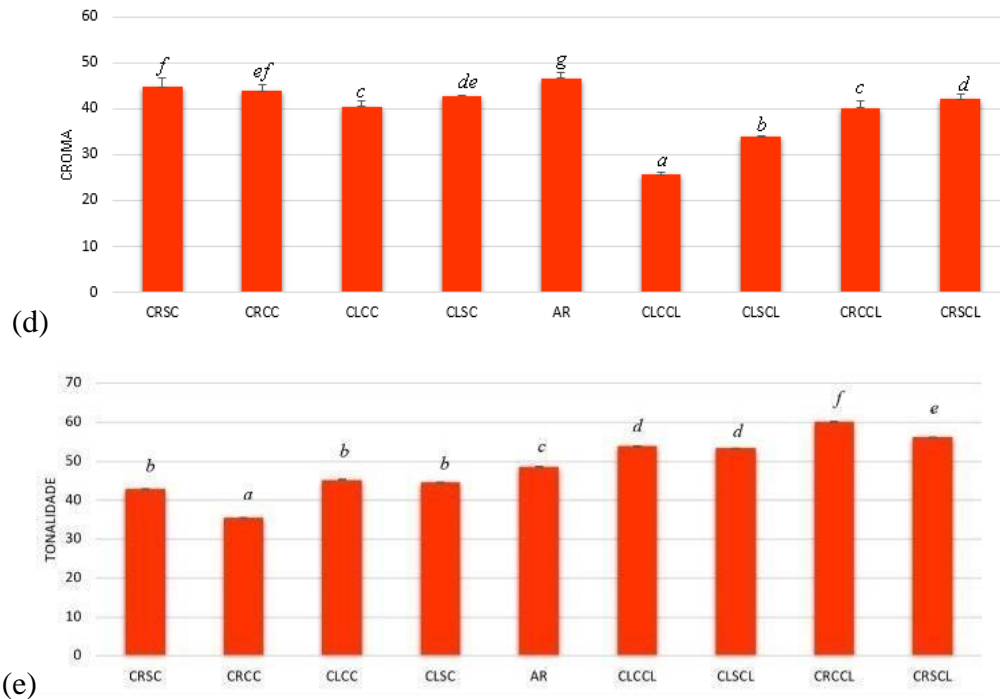
maturação, o congelamento rápido ocasionou menores danos às células, resultando em maiores resistências à penetração.

Colorimetria - Acerola

A Figura 11 apresenta os resultados dos parâmetros colorimétricos estudados nos diferentes tratamentos da acerola congelada.

Figura 11 - Parâmetros colorimétrico da acerola congelada (a) L* (b) a* (c) b* (d) Cromaticidade e (e) ângulo Hue, submetidas a diferentes tratamentos





CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; AR – Controle (Acerola refrigerada); CLCCL – congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização; CLSCL – Congelamento lento sem cloreto de cálcio e liofilização; CRCCL – Congelamento rápido com cloreto de cálcio e liofilização; CRSCL – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio e liofilização.

* Amostras com letras iguais não apresentam diferença significativa com 5% de probabilidade, teste Tukey.

Pode-se observar que os maiores valores de luminosidade foram os tratamentos CRCCL (61,4) e CRSCL (62,0) e que a presença de cloreto de cálcio não interferiu, de forma significativa, nos dois tratamentos, mas ambos são diferentes dos demais, cujo menor valor de L^* foi para o tratamento CLCCL (40,0) (Figura 11a). Estatisticamente, os tratamentos CLCCL (40,0), (CRCC e CRSC (40,5)) não diferiram entre si, mas diferiram das demais amostras, apresentando os menores valores de luminosidade.

Diversos estudos evidenciam que no congelamento há degradação da cor. Observou-se nos resultados que no tratamento com congelamento rápido, combinado com a liofilização, a infusão com cloreto de cálcio não interferiu e manteve maior luminosidade das acerolas. O congelamento rápido degradou menos os pigmentos e a liofilização, por concentrar os componentes, ao ser reidratada apresentou resultados satisfatórios (Figura 12).

Figura 12 - Acerola submetida ao congelamento rápido e liofilização



A Figura 11b mostra que para o parâmetro a^* todos os tratamentos apresentaram valores positivos e cor mais próxima do vermelho. O maior valor de a^* foi para a amostra CRCC (35,6), evidenciando que essa amostra apresentou a cor mais vermelha dentre as amostras estudadas e o tratamento CLCCL (15,0) apresentou o menor valor de a^* , ou seja, amostra com a menor cor vermelha.

Os tratamentos CRCC (20,0) e CLSCL (20,2) não apresentaram diferenças estatísticas entre si, mas diferem das demais amostras. Os tratamentos submetidos a liofilização apresentaram baixos valores de a^* , logo, a liofilização pode ter degradado antocianinas vermelhas que são pigmentos muito instáveis. A amostra controle não diferiu da amostra congelada lentamente sem cloreto de cálcio e nem da amostra congelada rapidamente sem cloreto de cálcio, neste caso, o tipo de congelamento e a infusão ou não em cloreto de cálcio não teve influência nos valores de a^* .

A amostra controle (AR) (34,9) foi a mais amarela e a menos amarela foi a CLCCL (20,7), conforme mostra a Figura 11c. O tipo de congelamento, e o cloreto de cálcio também não influenciou nesse parâmetro de cor.

Observou-se que de forma geral, o congelamento rápido, combinado à liofilização, conservou mais os pigmentos; a infusão no cloreto de cálcio não interferiu no resultado final e as amostras, estatisticamente, apresentaram a mesma coloração da amostra controle.

A amostra que apresentou maior saturação foi a controle (AR) (46,6) e o menor valor de saturação ficou com a amostra CLCCL (25,6) (Figura 11d). Pode-se observar que o tipo de congelamento, lento ou rápido e a infusão em cloreto de cálcio ou não, não interferem significativamente nos resultados.

O ângulo hue também foi calculado, menores valores, próximos a zero representam a cor avermelhada, sendo todos os valores próximos desta faixa. O valor mais próximo de zero foi apresentado pelo tratamento CRCC (0,62) (Figura 11e) e o maior valor CRCC

(1,05).

Na acerola, a coloração amarela, conferida pelos carotenoides, é mascarada pela presença de antocianinas vermelhas que são pigmentos muito instáveis e podem se degradar durante o processamento e a estocagem de alimentos com a consequente alteração da sua cor. Tal mudança afeta a coloração dos produtos fabricados a partir da acerola, principalmente quando se trata de polpas ou sucos (ALVES et al., 2002).

Pode-se observar que o congelamento rápido degradou menos a cor da acerola de forma geral. Maciel et al. (1999) em seu estudo, concluíram que o congelamento não evita a destruição de antocianinas, uma vez que houve alterações na cor de acerolas congeladas, que passaram de vermelha para amarela. Lima et al. (2003) avaliaram a estabilidade de pigmentos em polpa de acerola, sem tratamento térmico e armazenada sob congelamento por seis meses e os resultados evidenciaram redução no teor de antocianinas.

Segundo Neves e Lima (2009), as características cromáticas da polpa de acerola demonstram que estas se localizam dentro do primeiro quadrante, apresentando valores positivos de a^* e b^* , ou seja, as cores vermelha e amarela, respectivamente. Estes resultados encontram-se relacionados com os pigmentos presentes, como as antocianinas e os carotenoides. O congelamento é um dos processos mais indicados para a preservação das propriedades químicas, nutricionais e sensoriais de polpas de frutas. No entanto, a ação das enzimas é preocupante, pois pode provocar significativas alterações de cor em polpas de frutas congeladas.

Gomes et al. (2004) em seu estudo sobre o armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente, constataram que na polpa de acerola em pó, após 60 dias de armazenamento a temperatura ambiente, houve redução na luminosidade, aumento na intensidade do vermelho e aumento no valor do componente amarelo. Segundo esses autores, o aumento da intensidade de vermelho (a^*), associado à redução da luminosidade, retratou o escurecimento da amostra e que o aumento do valor do componente (b^*) pode ser devido à reação das antocianinas com o ácido ascórbico presente na acerola e que desta reação resultam perdas de ambos os componentes, com formação de pigmentos levemente escuros.

A luminosidade foi maior para as amostras submetidas ao congelamento rápido e liofilizadas e a infusão no cloreto de cálcio não interferiu nos resultados. Os maiores valores para as coordenadas a^* foram congelamento rápido, com e sem cloreto de cálcio. Os maiores valores de b^* foram para as amostras congeladas rapidamente, liofilizadas e o controle; a cromaticidade foi maior para os tratamentos congelados rapidamente com e sem cloreto de cálcio e amostra controle; a cor mais intensa foi para a amostra congelada rapidamente com

cloreto de cálcio e liofilizada.

O menor valor de luminosidade foi representado pelo congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização, este também apresentou os menores valores de a^* , b^* e Cr. O menor valor do ângulo hue foi para a amostra congelada rapidamente com cloreto de cálcio. Deste modo, o congelamento rápido combinado a liofilização, apresentou resultados mais satisfatórios se comparados ao congelamento lento, resultado semelhante em outros estudos e o cloreto de cálcio não ocasionou alterações na cor de forma positiva e nem negativa.

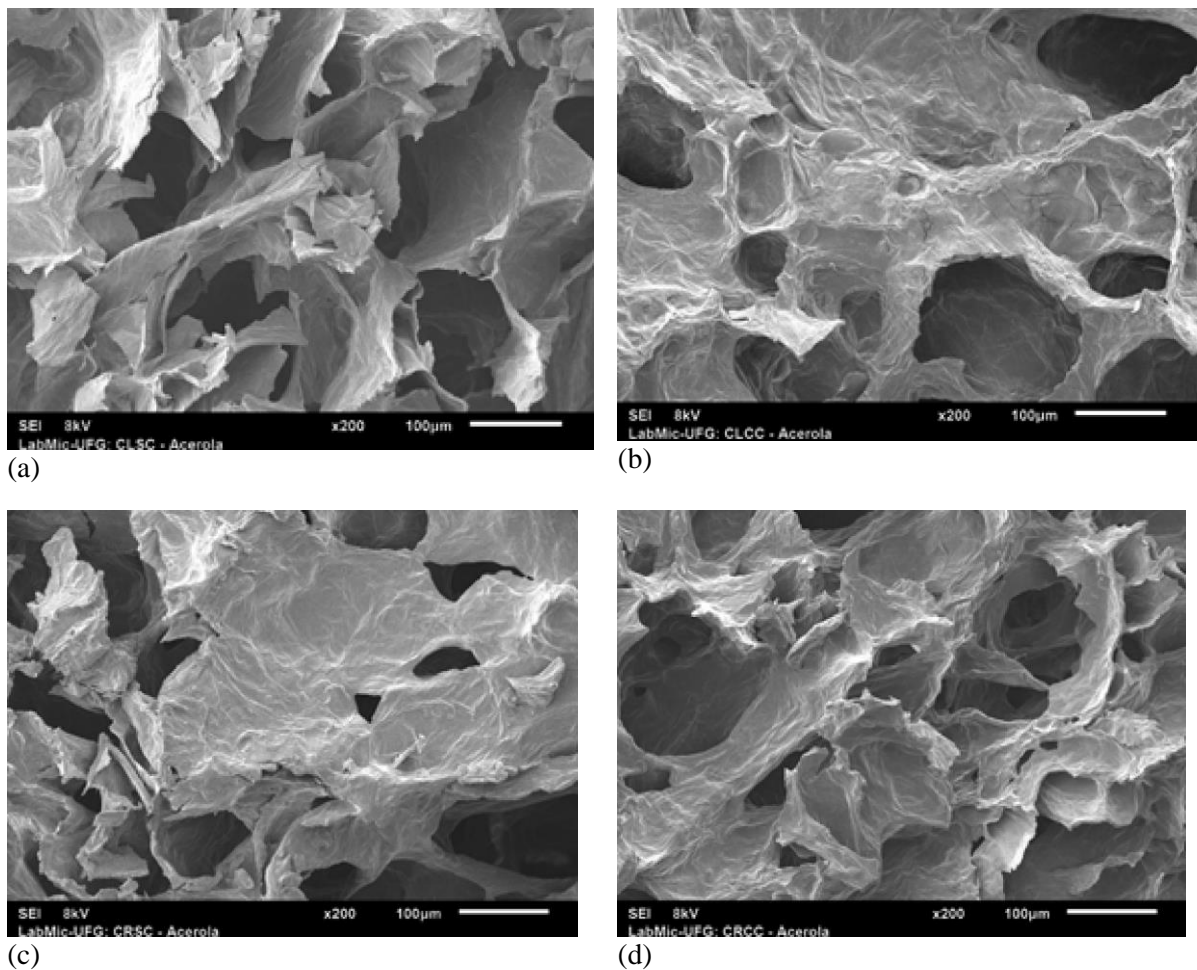
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) - Acerola

Os efeitos causados pelo crescimento dos cristais de gelo, imersão em cloreto de cálcio e liofilização sobre a preservação das microestruturas dos tecidos foram visualizados por micrografia obtidas por microscopia eletrônica de varredura.

A Figura 13 mostra as microestruturas das acerolas submetidas ao congelamento lento e rápido com e sem infusão em solução de cloreto de cálcio 1%.

Os métodos para o processamento de alimentos podem ser baseados no conceito de que mudanças na microestrutura afetam as propriedades do produto. Desse modo, técnicas de análise de microestrutura são necessárias para entender as relações estrutura e propriedades (AGUILERA, 2005).

Figura 13 - Fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura de acerolas submetidas a pré-tratamentos (a) Sem infusão em solução de cloreto de cálcio 1% e congelamento lento (b) Com infusão em solução de cloreto de cálcio 1% e congelamento lento (c) Sem infusão em solução de cloreto de cálcio 1% e congelamento rápido (d) Com infusão em solução de cloreto de cálcio 1% e congelamento rápido.



CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio.

Observa-se, na Figura 13, que os tratamentos sem cloreto de cálcio (Figuras 13a e 13c), submetidos a congelamento lento e rápido, respectivamente, apresentaram maior degradação e alto grau de ruptura da parede celular ao ser comparado ao tratamento com a infusão em cloreto de cálcio que resultou em estruturas mais íntegras. A infusão em cloreto de cálcio fortaleceu a parede celular da acerola, tanto no processo de congelamento lento quanto no rápido, como mostram as Figuras 13b e 13d, respectivamente.

A perda de firmeza trata de um processo natural do desenvolvimento de diversos frutos (SILVA et. al., 2015). Devido ao aumento da atividade de enzimas que atuam na degradação da pectina, presente nas paredes celulares, tem essa atividade aumentada à medida que os frutos amadurecem. Diversos trabalhos encontrados na literatura indicam que o tratamento com cálcio na pós-colheita tem sido efetivo em retardar a perda de firmeza em frutos.

Para os tratamentos submetidos ao congelamento rápido, o congelamento sem a infusão no cloreto de cálcio apresentou degradação muito alta, cujo grau de ruptura da parede celular foi intenso e conseqüentemente, maior perda de qualidade quando comparado ao tratamento com a infusão em cloreto de cálcio, que apresenta melhor estrutura e mais íntegra.

Os tratamentos submetidos à infusão em solução de cloreto de cálcio apresentaram melhores resultados, mas quanto ao congelamento (lento e rápido), pode-se visualizar, por meio das figuras 13 que o melhor tratamento para a acerola foi a combinação do congelamento rápido com a infusão em cloreto de cálcio, sendo este o que proporcionou menores danos à parede celular da acerola.

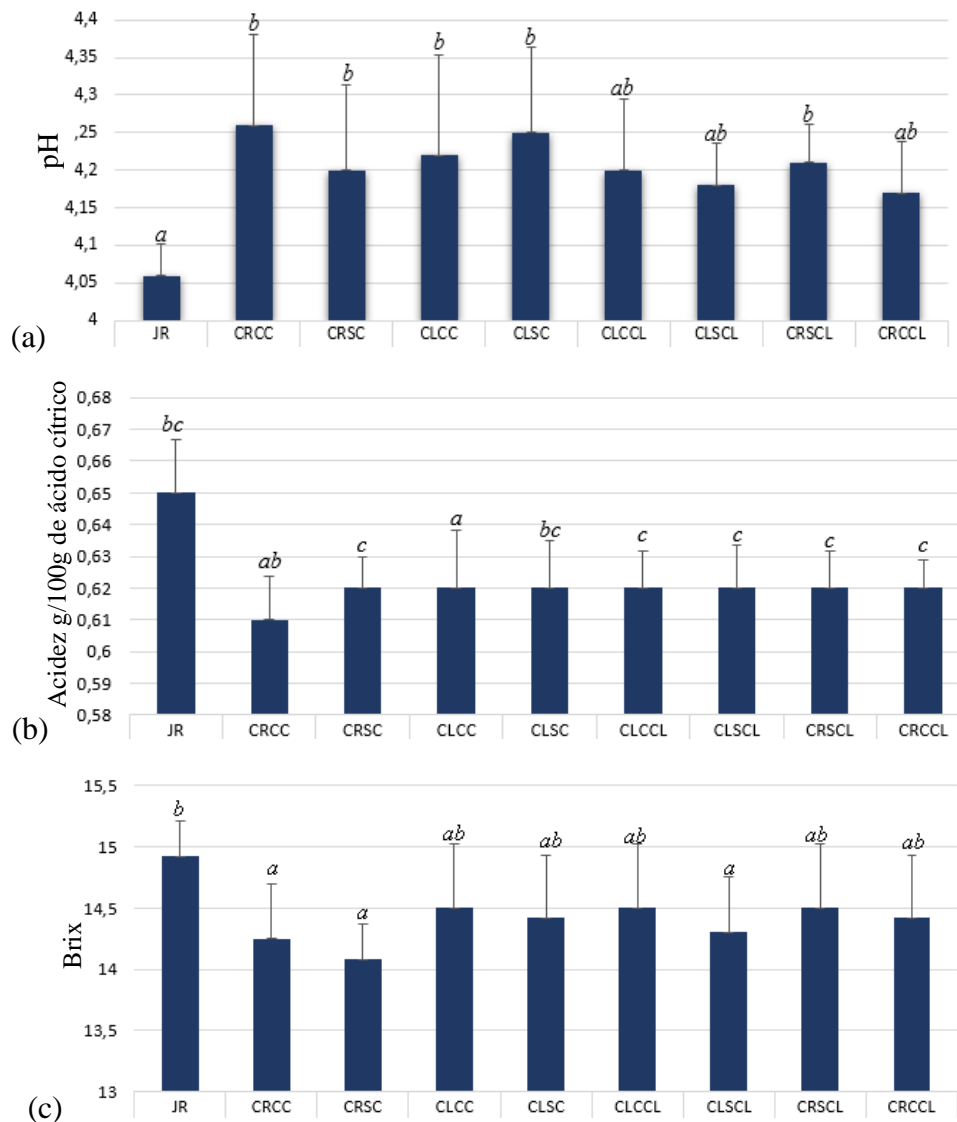
Segundo Rocha et al. (2003), o espaçamento estrutural é inversamente proporcional à velocidade de resfriamento, pois quanto maior for essa velocidade, mais refinada será a microestrutura. Logo, pode-se ressaltar que a velocidade de congelamento é reconhecida como um dos fatores responsáveis pela manutenção das características microestruturais do produto congelado, já que os fenômenos de nucleação e crescimento de estruturas ocorrem ao longo da evolução do processo. Além da dinâmica do processo de congelamento, outros aspectos como heterogeneidade da composição química e concentrações dos componentes, também, estão relacionados ao crescimento do cristal.

Pode-se ressaltar que a velocidade de congelamento é reconhecida como um dos fatores responsáveis pela manutenção das características microestruturais do produto congelado, já que os fenômenos de nucleação e crescimento de estruturas dendríticas ocorrem ao longo da evolução do processo. A microestrutura da polpa congelada de limão evidenciou a formação de grandes cristais de gelo nos espaços intercelulares, decorrente da baixa taxa de congelamento ($-20 \pm 2^\circ\text{C}$) (BRITO et al., 2014).

4.2. Parâmetros físicos - químicos, resistência a compressão, colorimetria, comportamento reológico e MEV - Jabuticaba

As análises físico-químicas realizadas na polpa da jabuticaba estão apresentadas na Figura 14.

Figura 14 - Resultados de (a) Potencial Hidrogeniônico (pH), (b) Acidez Titulável e (c) Teores de Sólidos Solúveis nos tratamentos com jabuticaba congelada, submetidas a diferentes tratamentos



JR – Controle (Jabuticaba refrigerada); CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; CLCCL – congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização; CLSCL – Congelamento lento sem cloreto de cálcio e liofilização; CRSCL – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio e liofilização; CRCL – Congelamento rápido com cloreto de cálcio e liofilização.

* Amostras com letras iguais não apresentam diferença significativa com 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os valores de pH foram ácidos (4,1 – 4,3) e acima do limite mínimo (2,9) estabelecido pelos padrões de identidade e qualidade (PIQ) (BRASIL, 2018). Boesso (2014) obteve pH de 3,7 para a jabuticaba *in natura* em seu estudo sobre caracterização físico-

química. Segundo Resende et. al. (2015), em estudo sobre caracterização das propriedades físico-químicas da casca e da polpa de jabuticaba, o pH da polpa e da casca apresentaram o mesmo valor de 3,7. Donadio et. al. (2016) obtiveram variação do pH de 3,9 a 4,2 no mesmo fruto. De Lima et. al., (2018) observaram características físico-químicas da casca de jabuticaba de diferentes estádios fisiológicos e concluíram que o pH apresentou tendência de aumento com o aumento do estágio de maturação, com valores de pH menores que 4,0, sendo classificadas as cascas de jabuticaba como muito ácidas (GAVA et al., 2014). Ferreira et. al., (2016) obtiveram 3,5 para o pH da polpa de jabuticaba, valor próximo ao obtido neste estudo.

Os teores de acidez titulável variaram de 0,61 a 0,65 g/100g em todos os tratamentos avaliados (Figura 14b) e diferiram estatisticamente da amostra controle (JR), sem nenhum tratamento, apenas refrigerada, que apresentou a maior acidez.

Notou-se comportamento do pH inverso ao da acidez titulável. Segundo Ferreira (2016), os valores de pH e acidez para polpa de jabuticaba foram de 3,5 e 0,25g respectivamente, portanto, quanto menor o pH maior a acidez do produto. Boesso (2014) obteve valores de acidez da jabuticaba em torno de 0,73 g/100 g de polpa. De acordo com Danner et al., (2009), que caracterizaram frutos de três espécies de jabuticabeira na região sudoeste do Paraná, na safra de primavera, os valores de acidez titulável (AT) variaram de 0,24 a 0,51 g/100g de polpa. Segundo Cecchi (2003), a acidez é uma variável importante, pois os ácidos orgânicos, presentes em alimentos, influenciam o sabor, odor, cor, estabilidade e a manutenção de qualidade. A acidez em relação ao conteúdo de açúcar é útil na determinação da maturação da fruta.

Através dos resultados, a amostra controle (JR) apresentou o maior valor de sólidos solúveis (14,9 °Brix) (Figura 14c). A composição química da jabuticaba depende do estágio de maturação do fruto e outras características como peso e tamanho (NOGUEIRA et al., 2002). Os valores de SS variaram de 14,0 a 14,9 °brix e as amostras não apresentaram diferenças significativas (Figura 14c) Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Boesso (2014), média de 15,9 °Brix e por Rezende, (2015) que encontraram média de 14,9 °Brix, para polpas de jabuticabas. Brunini et al. (2004) obtiveram valores com variação de 12,0 a 15,5 °Brix e Pereira et al. (2000) encontraram variações entre 9,0 e 14,0 °Brix para polpas de jabuticabas. Teores acima de 15,0 °Brix podem sugerir menor conservação pós-colheita para jabuticaba, pois segundo Barros et al. (1996), excesso de açúcares no fruto pode levar a rápida deterioração e fermentação e consequente redução da vida útil.

Apesar do maior valor de SS (°Brix) ser da jabuticaba controle, os valores dos

demais tratamentos se apresentaram próximos, indicando que o tamanho e maturação das frutas estavam similares.

A relação sólidos solúveis (SS)/acidez titulável (AT), tabela 7, representa um índice que pode indicar o amadurecimento do fruto e, também, determinar o sabor é a relação entre os açúcares solúveis, ou seja, quanto maior a valor entre a razão SS/AT, mais doces serão as frutas.

Tabela 7: Relação sólidos solúveis e acidez titulável para as amostras de jabuticaba submetidas aos diferentes tratamentos

Amostras	SS/AT
JR	23,00 ^a
CLSCL	22,90 ^a
CRSC	22,60 ^a
CRCCCL	23,07 ^a
CLCCCL	23,20 ^a
CRSCL	23,21 ^a
CLSC	23,26 ^a
CRCC	23,47 ^a
CLCC	23,54 ^a

JR – Controle (Jabuticaba refrigerada); CLSCL – Congelamento lento sem cloreto de cálcio e liofilização; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CRCCCL – Congelamento rápido com cloreto de cálcio e liofilização; CLCCCL – congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização; CRSCL – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio e liofilização; CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio.

* Amostras com letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa a nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

As amostras não diferiram estatisticamente entre si, indicando grau de doçura semelhante para todos os tratamentos. A relação SS/AT variou de 22,6 a 23,6, o que caracteriza frutos doces e acidez intermediária. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a relação de sólidos solúveis /acidez titulável é uma das formas mais utilizadas para a avaliação do sabor dos frutos, sendo mais representativa que a medição isolada de açúcares ou da acidez.

Por meio das análises físico-químicas, observou-se que o tratamento que apresentou maior teor de sólidos solúveis (°Brix) foi JR (14,9), tratamento controle constituído apenas

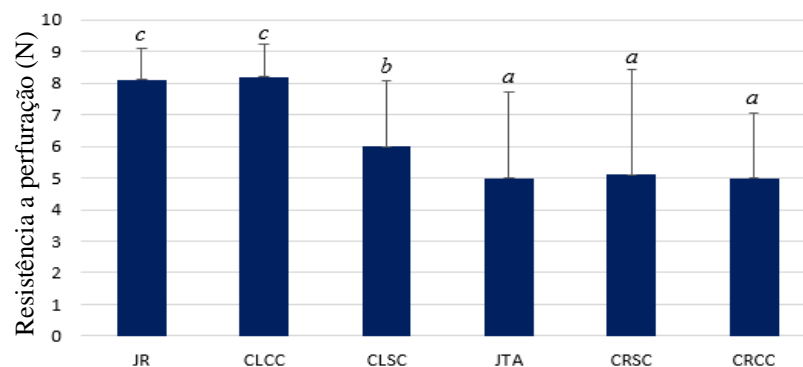
da refrigeração da jabuticaba. Este resultado é justificado, visto que no descongelamento ocorrem perdas e na liofilização, o tempo de reidratação pode não ter sido suficiente para que os açúcares concentrados fossem reestruturados na fruta. O menor valor de SS (°Brix) (14,0) foi para a amostra CRSC. A amostra CRCC apresentou o maior valor de pH (4,3) e menor acidez (0,61 g /100 g), e a amostra JR apresentou menor pH (4,0) e maior acidez (0,65 g/100 g), evidenciando que as características físico-químicas estavam próximas entre todos os tratamentos.

O tratamento CRSC, além de apresentar menor grau de sólidos solúveis, alto valor de pH e valor de acidez baixo, foi o tratamento que apresentou a menor razão entre sólidos solúveis e acidez, concluindo que este tratamento era o mais distante do ótimo grau de maturação. O CLCC apresentou SS, pH e acidez titulável na média entre os valores obtidos e apresentou o maior valor na razão SS/AT, isso significa que os frutos estavam no ponto ideal de doçura. Apesar da diferença numérica de valores, estatisticamente, não houve diferença significativa para a razão SS/AT entre as amostras estudadas, indicando que em todos os tratamentos, os frutos estavam no ponto ideal de dulçor.

Resistência à compressão - Jabuticaba

A perda de textura da jabuticaba apresentou comportamento conforme mostrado na figura 15.

Figura 15 - Resistência a compressão (perfuração) das amostras de jabuticaba submetidas a diferentes tratamentos



JR – Controle (Jabuticaba refrigerada); CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; JTA – Jabuticaba temperatura ambiente; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio.

*Amostras com letras iguais não apresentam diferença significativa a nível 5% de probabilidade pelo

teste Tukey.

Através da figura 15, observou-se que os tratamentos que apresentaram a maior resistência à perfuração, em ordem decrescente foram: JR (8,2 N), CLCC (8,1 N), CLSC (6,0 N), CRSC (5,1 N), JTA (5,0 N) e CRCC (5,0 N). Neste caso, o congelamento rápido apresentou maiores degradações/danos na casca da fruta. Algumas jabuticabas estouraram, devido à baixa temperatura por longos períodos de tempo e expansão do volume da polpa, prejudicando a qualidade e a casca ficou murcha e menos resistente (Figura 16).

Figura 16 - (A) Congelamento lento da jabuticaba sem infusão no cloreto de cálcio, (B) congelamento rápido da jabuticaba sem infusão no cloreto de cálcio e (C) jabuticaba sem nenhum tratamento a temperatura ambiente



A Figura 16 compara amostras submetidas ao congelamento lento e rápido e uma amostra sem tratamento, apenas à temperatura ambiente. Esta última houve perda de muita umidade, sendo os tratamentos mais satisfatórios o controle e o congelamento lento.

O congelamento prejudica o alimento, devido à lesão das células (rompimento da membrana), com liberação do líquido celular. A pressão interna ocorre porque as camadas externas do alimento congelam antes que as camadas internas, formando uma película congelada na superfície do produto. Com o congelamento, ocorre aumento no volume da água congelada, aumentando a pressão interna, devido à resistência encontrada na barreira superficial, ocorrendo a ruptura do tecido (COLLA; HERNÁNDEZ, 2003).

Em seu estudo sobre diferentes cultivares de jabuticaba, Ribeiro (2017) concluiu que quanto mais maduro os frutos ficavam maior a perda de resistência. Segundo Silva et al. (2009), a queda da firmeza pode ser resultante da despolimerização pécica na parede celular, que culmina com a solubilização das pectinas durante o seu amadurecimento, pela ação de enzimas hidrolíticas. De acordo com Garcia (2017), em seu estudo sobre desenvolvimento

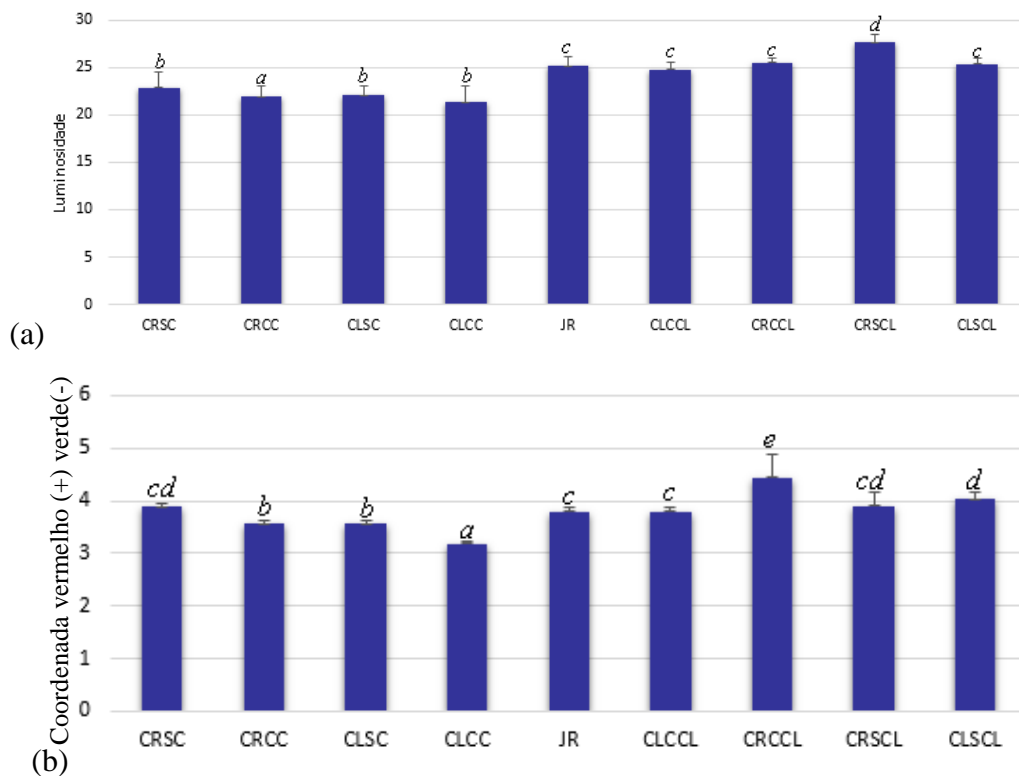
fisiológico e conservação pós-colheita de jabuticaba, o aumento da temperatura influencia na redução da firmeza dos frutos, uma vez que a perda de massa contribui com a redução da firmeza.

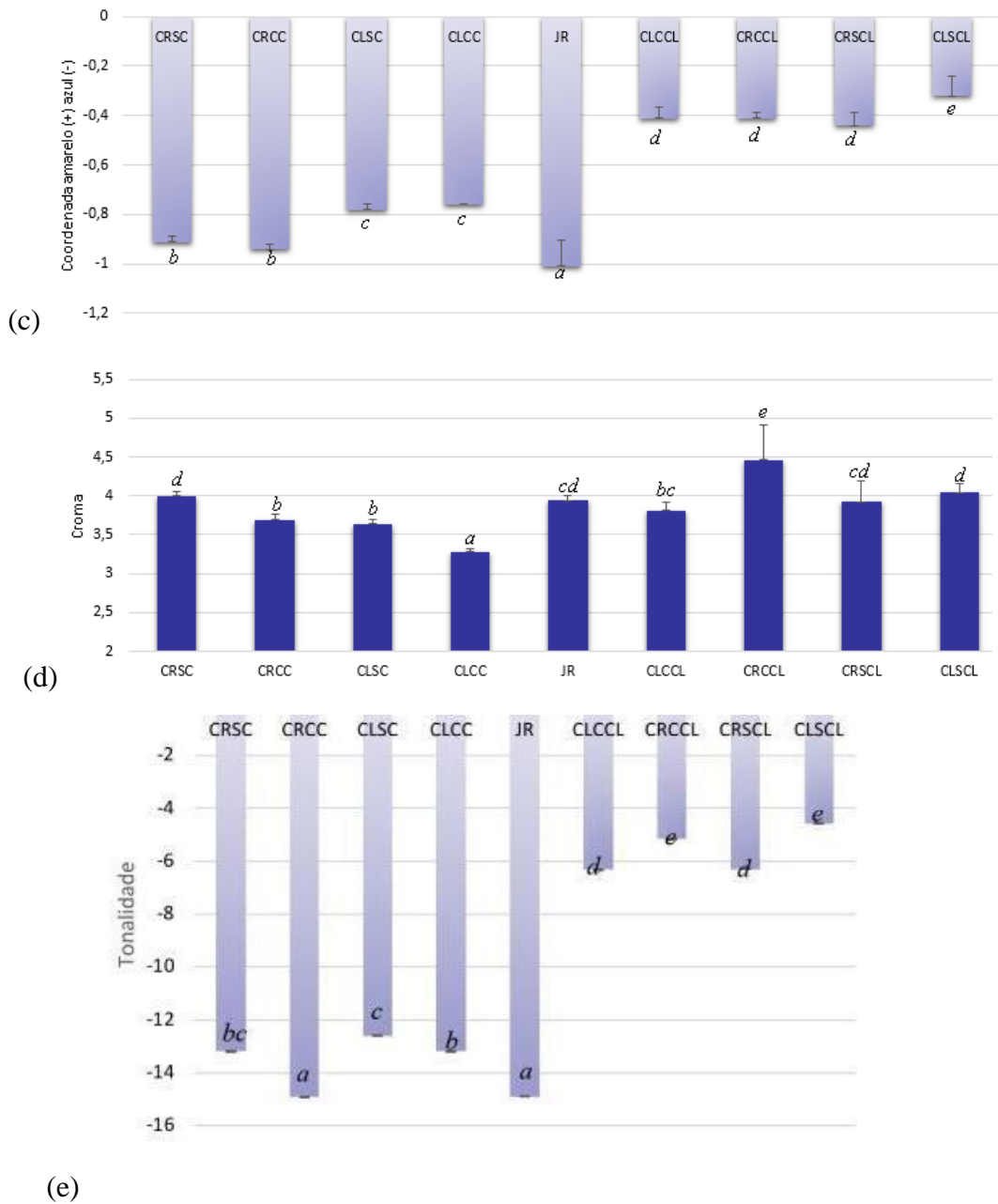
Os tratamentos, utilizando o congelamento lento, evidenciaram resultados mais satisfatórios, se comparado ao congelamento rápido. A combinação com a infusão em cloreto de cálcio resultou na maior firmeza que as amostras sem cloreto de cálcio. O congelamento lento, com imersão em cloreto de cálcio (CLCC), não apresentou diferença estatística da amostra controle (JR), mas ambas diferiram das demais. Os dois tratamentos evidenciam maior firmeza, melhor impressão visual global e quanto ao grau de doçura, pode-se afirmar que estavam próximos pelo resultado da razão SS/AT que apresentaram valores com pequenas diferenças e estatisticamente iguais.

Colorimetria Jabuticaba

A Figura 17 apresenta os resultados dos parâmetros colorimétricos estudados nos diferentes tratamentos da jabuticaba congelada.

Figura 17 - Parâmetros colorimétrico da jabuticaba congelada (a) L* (b) a* (c) b* (d) Cromaticidade e (e) ângulo Hue, submetidas a diferentes tratamentos





CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio; CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; JR – Controle (Jaboticaba refrigerada); CLCCL – congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização; CRCCL – Congelamento rápido com cloreto de cálcio e liofilização; CRSCL – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio e liofilização; CLSCL – Congelamento lento sem cloreto de cálcio e liofilização.

* Amostras com letras iguais não apresentam diferença significativa com 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

A Figura 17a mostra que a jaboticaba, por ser uma fruta de coloração escura,

naturalmente apresenta luminosidade menor. Comparando os tratamentos, a menor luminosidade foi CRCC (21,4) e a maior luminosidade CRSCCL (27,6). Logo, a infusão ou não em cloreto de cálcio não interferiu no parâmetro L^* da jabuticaba, mas a combinação do congelamento rápido, liofilização e o tratamento controle apresentaram resultados mais satisfatórios.

O valor da coordenada a^* (vermelho (+) verde (-)) foi mensurado e os valores apresentados na Figura 17b. Todos os valores foram positivos (vermelho), mas baixos, pois a cor vermelha está presente em tom muito escuro, tendendo mais para a cor roxa. A amostra de cor menos avermelhada foi CLCC (3,2) e, estatisticamente, difere de todas as amostras. O maior valor de a^* foi para o tratamento CRCCCL (4,4) que, estatisticamente, apresenta diferenças significativas entre todas as amostras estudadas. A combinação do congelamento rápido com a liofilização foi satisfatória para reduzir a degradação dos pigmentos, mas a presença de cloreto de cálcio não interferiu nos resultados.

O parâmetro b^* varia de b^+ (amarelo) à b^- (azul) e os resultados foram apresentados na Figura 17c. Todos os valores de b^* foram negativos, pois a casca da jabuticaba não apresenta cor próxima do amarelo e, por ser de cor roxa escura, está mais próximo da cor azul. O sinal negativo indica maior aproximação da cor mais azul, logo, a amostra que apresentou maior coloração azul foi a amostra controle (JR) (-1,01) e a menor foi CLSCL (-0,32). De modo geral, as amostras liofilizadas apresentaram menor cor azul, pois pode ter se degradado durante o processo de liofilização. A infusão no cloreto de cálcio não interferiu no resultado e o congelamento rápido apresentou maiores valores para b^* .

A cromaticidade também foi calculada e os resultados apresentados na Figura 17d. A amostra que apresentou maior valor foi CRCCCL (4,46), submetida ao congelamento rápido, infusão em solução de cloreto de cálcio e liofilização, e o menor valor de saturação para a amostra CLCC (3,28), congelamento lento com infusão em cloreto de cálcio. O tipo de congelamento (lento ou rápido) e a infusão ou não no cloreto de cálcio não interferiram nos resultados obtidos.

O ângulo hue (tonalidade) também foi calculado e os valores obtidos foram representados na Figura 17e estão no terceiro quadrante, próximo ao ângulo de 270° , neste caso, foram representados como o espelho do primeiro quadrante, portanto, apresentando valores negativos. Estatisticamente, não houve diferença significativa para as amostras JR (-14,89) e CRCC (-14,89), mas diferiram das demais. As amostras liofilizadas, CRCCCL (-5,15) e CLSCL (-4,58), não diferiram entre si, mas apresentaram diferenças ao se comparar as demais amostras, sendo estes os menores resultados. A infusão no cloreto de cálcio e o

tipo de congelamento, não interferiram neste parâmetro.

Em seu estudo com polpa congelada de jabuticaba, Garcia (2017) evidenciou que para a coordenada a^* , que varia de verde (-a) a vermelho (+a), foram observadas variações durante todo o período de armazenamento, porém, apesar das variações, a cor da casca tendeu mais ao vermelho. Este resultado foi semelhante ao encontrado para a jabuticaba neste estudo.

De acordo com os resultados mostrados por Santos, (2011), em geral, a liofilização provocou o aumento da luminosidade em todas as amostras de graviola; resultados semelhantes aos obtidos neste estudo par as jabuticabas liofilizadas. Santos (2011) comparou a luminosidade de amostras de diferentes taxas de congelamento e demonstrou que amostras submetidas ao congelamento rápido e despulpadas em extrator apresentaram maior luminosidade, devido a formação de um grande número de cristais de gelo de tamanhos menores. A elevação da luminosidade é uma das características típicas dos produtos liofilizados. Logo, a combinação do congelamento rápido e liofilização resultam nos maiores valores de luminosidade.

Krokida et. al., (2001) investigaram o efeito de diferentes métodos de secagem na qualidade final de amostras de maçãs, bananas, batatas e cenoura e concluíram que os materiais desidratados pelo método convencional de secagem, micro-ondas e a vácuo (“vacuum-dried”) sofreram significativo escurecimento, enquanto os submetidos à liofilização, e à desidratação osmótica mantiveram suas cores intactas. Os autores ressaltaram que estes dois últimos tratamentos são processos que produzem produtos com melhoras nas características de cor. Observou-se que no presente estudo, a liofilização de modo geral preservou bem a coloração da jabuticaba.

O tratamento que apresentou a maior luminosidade foi CRSCCL (27,62), os maiores valores de a^* (4,44) e Cr (4,46) foram da amostra CRCCL, logo, o congelamento rápido, combinado à liofilização, é uma boa alternativa para preservar a cor da jabuticaba; a infusão em cloreto de cálcio não interferiu de forma significativa nos resultados. Os valores de b^* (-1,01) e $^{\circ}h$ (-0,26) foram maiores para a amostra controle, sendo esta a mais azul. Em contrapartida, os menores valores de L^* (21,36), a^* (3,19) e Cr (3,28) foram para a amostra CLCC, o que indica que o congelamento lento ocasionou maiores perdas de cor e a amostra menos azul foi CLSCL, apresentando menores valores de b^* (- 0,32) e $^{\circ}h$ (- 0,08). Observou-se que a infusão no cloreto de cálcio não interferiu nos resultados obtidos para análise dos parâmetros de cor. O que interferiu foi o tipo de congelamento, para todos os parâmetros analisados, sendo os resultados mais satisfatórios nas amostras submetidas ao congelamento

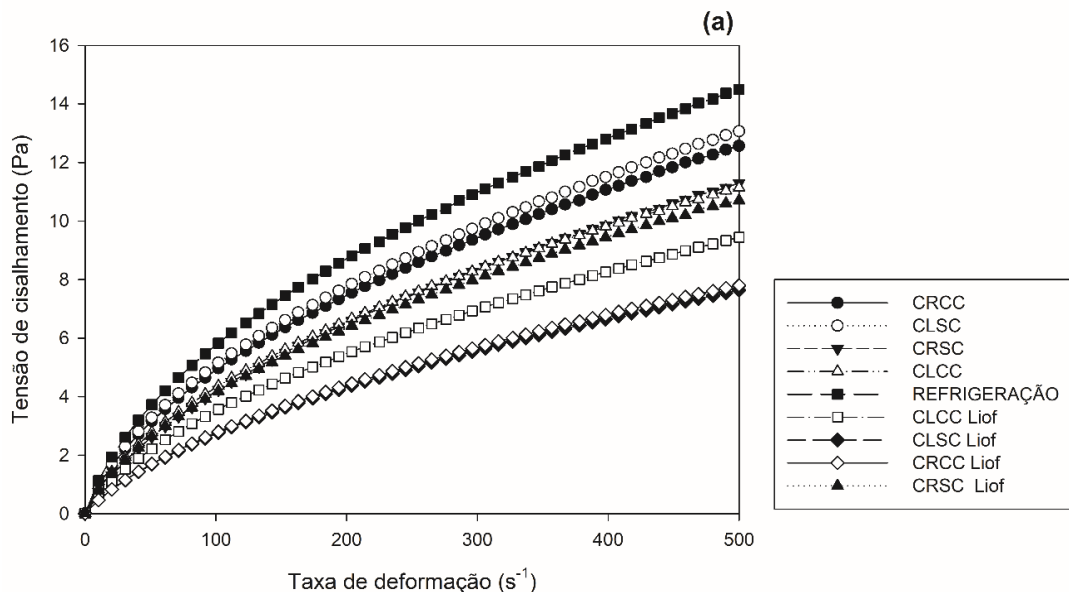
rápido, enquanto os menores valores foram para as amostras submetidas ao congelamento lento.

Comportamento reológico das polpas de jabuticaba

A Figura 18a mostra a relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. De acordo com Silva et al., (2012), quanto maior a taxa de deformação menor é a sua influência sobre a tensão de cisalhamento. Isto pode ser observado pela redução da inclinação das curvas de escoamento. A não linearidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação indica que o suco estudado apresenta comportamento não newtoniano.

A Tabela 8 apresenta os parâmetros reológicos para cada modelo analisado. A Lei da potência e o modelo de *Hershell—Bulkley* foram os modelos que se ajustaram melhor aos dados ($R^2 > 0,999$). Observou-se, na Tabela 8, que o modelo lei de Newton apresentou os coeficientes de determinação (R^2) menores que 0,90 e o erro médio de regressão linear foram maiores que 0,70, significando que este modelo não é adequado para estimar os dados reológicos das amostras analisadas. Os modelos de *Herschel-Bulkley* e Lei da Potência apresentaram ajustes semelhantes e foram os melhores modelos que mostraram bom ajuste para todas as amostras estudadas, pois além de apresentarem coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99, as raízes quadradas dos erros médios foram inferiores a 0,12.

Figura 18 - Curvas de fluxo: (a) Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação (b) Viscosidade aparente em função da taxa de deformação



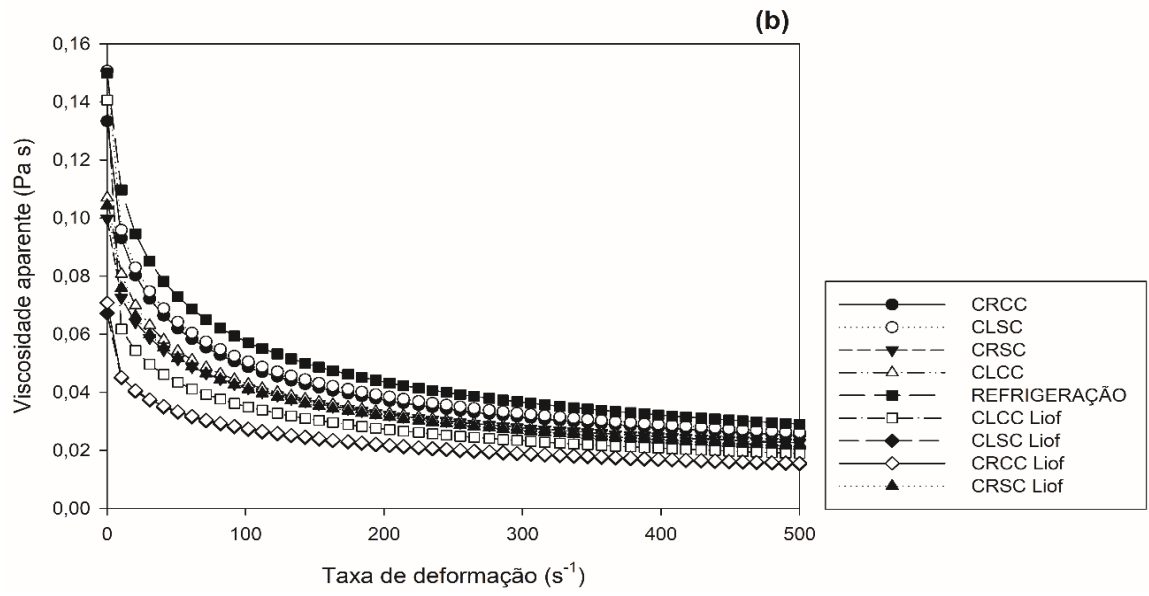


Tabela 8: Parâmetros reológicos dos extratos de jabuticaba à temperatura de 20 °C e modelos analisados, Lei de Newton, Lei da potência e o 76 modelo de *Hershell—Bulkley*

Lei de Newton				
Amostras	R ²	RMSE	μ	
CRCC	0,8289	1,3883	0,0292 ^{bc} ($\pm 0,0003$)	
CLSC	0,8310	1,4374	0,0304 ^{ab} ($\pm 0,0005$)	
CRSC	0,8666	1,1197	0,0259 ^{bcd} ($\pm 0,0016$)	
CLCC	0,8359	1,2100	0,0259 ^{bcd} ($\pm 0,0002$)	
Refrigeração	0,8162	1,6569	0,0339 ^a ($\pm 0,0025$)	
CLCCL	0,8622	0,9494	0,0217 ^{de} ($\pm 0,0008$)	
CLSCL	0,8875	0,7026	0,0174 ^e ($\pm 0,0034$)	
CRCCL	0,8918	0,7061	0,0178 ^e ($\pm 0,0010$)	
CRSCL	0,8384	1,11595	0,0249 ^{cd} ($\pm 0,0002$)	
Lei da potência				
Amostras	R ²	RMSE	K	N
CRCC	0,9992	0,0965	0,3230 ^{ab} ($\pm 0,0050$)	0,5905 ^{cd} ($\pm 0,0011$)
CLSC	0,9992	0,1013	0,3327 ^{ab} ($\pm 0,0072$)	0,5922 ^{bcd} ($\pm 0,0011$)
CRSC	0,9992	0,0863	0,2375 ^c ($\pm 0,0234$)	0,6231 ^{ab} ($\pm 0,0064$)
CLCC	0,9992	0,0859	0,2769 ^{bc} ($\pm 0,0049$)	0,5960 ^{bcd} ($\pm 0,0019$)

Refrigeração	0,9990	0,1245	0,3960 ^a ($\pm 0,0535$)	0,5817 ^d ($\pm 0,0105$)	
CLCCL	0,9992	0,0713	0,2038 ^{cd} ($\pm 0,0154$)	0,6188 ^{abc} ($\pm 0,0061$)	
CLSCL	0,9993	0,0576	0,1418 ^d ($\pm 0,0529$)	0,6486 ^a ($\pm 0,0305$)	
CRCCCL	0,9993	0,0579	0,1396 ^d ($\pm 0,0129$)	0,6493 ^a ($\pm 0,0062$)	
CRSCL	0,9991	0,0896	0,2633 ^{bc} ($\pm 0,0050$)	0,5982 ^{bcd} ($\pm 0,0016$)	
Modelo de Hershell–Bulkley					
Amostras	R ²	RMSE	k_H	n_H	σ_o
CRCC	0,9996	0,0689	0,4028 ^b ($\pm 0,0030$)	0,5592 ^{bc} ($\pm 0,0003$)	-0,3843 ^c ($\pm 0,0105$)
CLSC	0,9996	0,0724	0,4156 ^{ab} ($\pm 0,0061$)	0,5606 ^{bc} ($\pm 0,0004$)	-0,4021 ^c ($\pm 0,0077$)
CRSC	0,9996	0,0617	0,2971 ^c ($\pm 0,0292$)	0,5911 ^{ab} ($\pm 0,0064$)	-0,3293 ^{bc} ($\pm 0,0235$)
CLCC	0,9996	0,0613	0,3459 ^{bc} ($\pm 0,0062$)	0,5645 ^{bc} ($\pm 0,0019$)	-0,3398 ^{bc} ($\pm 0,0079$)
Refrigeração	0,9995	0,0903	0,5034 ^a ($\pm 0,0690$)	0,5479 ^c ($\pm 0,0107$)	-0,4949 ^d ($\pm 0,0490$)
CLCCL	0,9996	0,0513	0,2539 ^{cd} ($\pm 0,0212$)	0,5875 ^{ab} ($\pm 0,0073$)	-0,2720 ^{ab} ($\pm 0,0263$)
CLSCL	0,9996	0,0724	0,1779 ^d ($\pm 0,0674$)	0,6161 ^a ($\pm 0,0311$)	-0,2167 ^a ($\pm 0,0586$)
CRCCCL	0,9996	0,0413	0,1742 ^d ($\pm 0,0164$)	0,6174 ^a ($\pm 0,0064$)	-0,2138 ^a ($\pm 0,0158$)
CRSCL	0,9995	0,0649	0,3333 ^{bc} ($\pm 0,0060$)	0,5648 ^{bc} ($\pm 0,0014$)	-0,3474 ^{bc} ($\pm 0,0046$)

R² coeficiente de correlação, RMSE raiz quadrada do erro médio, σ_o tensão de cisalhamento inicial (Pa), k índice de consistência (Pa sⁿ), k_H índice de consistência Herschel-Bulkley (Pa sⁿ), n índice de comportamento de fluxo (adimensional) e n_H índice de comportamento de fluxo *Herschel-Bulkley* (adimensional). Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio; CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; Refrigeração – Controle (refrigerada); CLCCL – congelamento lento com cloreto de cálcio e liofilização; CLSCL – Congelamento lento sem cloreto de cálcio e liofilização; CRCCCL – Congelamento rápido com cloreto de cálcio e liofilização; CRSCL – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio e liofilização.

A Tabela 8, referentes ao modelo (Lei da Potência), mostra que ele apresentou bom ajuste para os dados experimentais confirmados pelos baixos valores de RMSE. Valores como o coeficiente de determinação (R^2) apresentaram-se acima de 0,99 e os tratamentos apresentaram valores do índice de comportamento do fluido (η) menor que (1), caracterizando o fluido como pseudoplástico.

Analisando-se o modelo de *Herschel-Buckley*, pode-se verificar que os valores de n_H e k_H são semelhantes aos valores encontrados no modelo da Lei da potência. Os valores negativos de tensão de cisalhamento inicial (σ_o) não apresentaram significado físico, perante o modelo de *Herschel-Buckley*.

Quanto maior for o valor de RMSE, maior será a discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Quanto menor o valor de R^2 , maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de R^2 (máximo = 1) e baixos valores de RMSE (mínimo = 0) (PANCHARIYA et al. 2002). Comparando os modelos matemáticos estudados, observou-se que os maiores valores para o coeficiente de determinação (R^2), foram representados pelos modelos matemáticos de Lei da Potência e *Herschel-Buckley*, com isso, pode-se dizer que ambos os modelos representam satisfatoriamente o comportamento das amostras analisadas.

Bezerra et al. (2012) estudaram o comportamento reológico de suco misto elaborado com frutas tropicais e constataram que as amostras apresentaram comportamento não newtoniano com caráter pseudoplástico, sendo a Lei da potência o modelo que melhor se ajustou para o estudo. Em outro estudo, Ferreira et al. (2018) analisaram o comportamento reológico de um suco misto tropical de umbu, manga e água de coco, caracterizado como um fluido não-Newtoniano com características pseudoplásticas e concluíram que o modelo matemático que apresentou melhor ajuste foi de *Herschel-Bulkley*. Segundo Karwowski (2012) em seu estudo no qual avaliou o comportamento reológico das frutas Uvaia e Pitanga, as amostras integrais (purês) apresentaram comportamento pseudoplástico.

O comportamento reológico das amostras de jabuticaba congelada pode ser visualizado nas Figura 18a e b. O reograma da Figura 18a descreve o comportamento de um fluido não newtoniano. Observou-se que não há relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. As inclinações das curvas diminuem com o aumento da taxa de deformação e estas são curvas típicas de um fluido não newtoniano pseudoplástico. O índice de comportamento de fluxo (n) e o índice de comportamento

de fluxo *Hershell—Bulkley* são inferiores a 1, demonstrando também a característica pseudoplástica do fluido (Tabela 8).

A figura 18 mostra que as inclinações das curvas de fluxo diminuem com o aumento da taxa de deformação, significando que à medida que a taxa de deformação aplicada aumenta e ocorre a diminuição da viscosidade aparente (Figura 18b). Segundo Pelegrine (1999), esse comportamento é muito comum para polpas e sucos de frutas, uma vez que a maioria desses produtos se apresenta na forma de sólidos dispersos em meio líquido, e um aumento da temperatura causa diminuição da viscosidade da fase líquida, aumentando a mobilidade das partículas em suspensão.

A redução da viscosidade com o aumento da taxa de deformação apresentada na Figura 18 confirma que o fluido estudado apresenta caráter pseudoplástico. De acordo com a literatura, essa característica é típica para sucos e polpas de frutas sendo observada em estudos envolvendo polpas de acerola, caju, manga e jabuticaba (SILVA et al., 2012).

A tensão de cisalhamento inicial (σ_0), que, segundo Steffe (1996), é uma tensão finita necessária para que o fluido comece a escoar, sendo proporcional a taxa de deformação; conforme a tensão de cisalhamento aumenta, a taxa de deformação também aumenta.

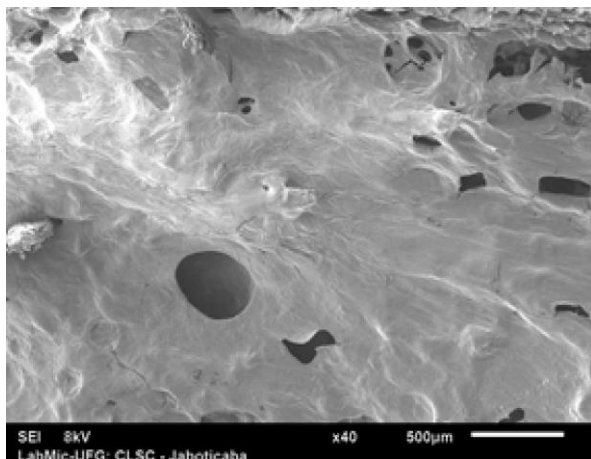
O k_H e k é o índice de consistência e indica o grau de resistência do fluido ao escoamento. Observou-se que k e k_H apresentaram o maior valor para o tratamento controle (Refrigeração) sendo este o mais consistente, seguido dos tratamentos CLSC, CRCC, CLCC, CRSCL, CRSC, CLCCL, CLSCL e CRCCL, Para a Lei da potência e modelo de *Herschel-Bulkley*, os menores valores foram para os tratamentos liofilizados, indicando menor consistência; a presença de cloreto de cálcio ou o tipo de congelamento não interferiram nos resultados.

Constatou-se que o índice de comportamento de fluxo (n) nos modelos de Lei da potência e *Herschel-Bulkley* (n_H) foi inferior a 1 para todas as formulações, caracterizando, dessa forma, fluido não newtoniano com comportamento pseudoplástico, ou seja, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de deformação do fluido. O comportamento de fluido pseudoplástico é típico de sucos e polpas de frutas, sendo observado em polpas de acerola, caju, manga e jabuticaba (SATO e CUNHA, 2007), morango (OLIVEIRA et al., 2012), polpa de açaí (CARNEIRO, 2000), pasta de amendoim (CITERNE et al., 2001) e molho de tomate (RAO e COOLEY, 1992).

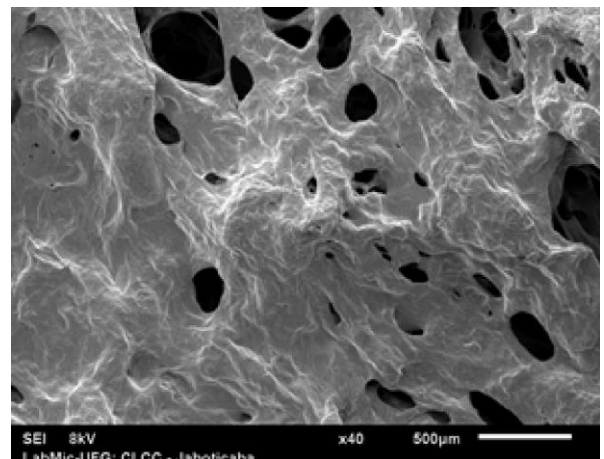
Microscopia eletrônica de varredura - Jaboticaba

Para a análise de microscopia eletrônica de varredura, todos os tratamentos foram liofilizados. As amostras foram visualizadas com ampliação de 40, 200 e 1000 vezes para analisar as alterações das microestruturas de jaboticabas, submetidas aos tipos de congelamento (lento e rápido) e pré-tratamentos com e sem infusão em solução de cloreto de cálcio 4% (Figura 19).

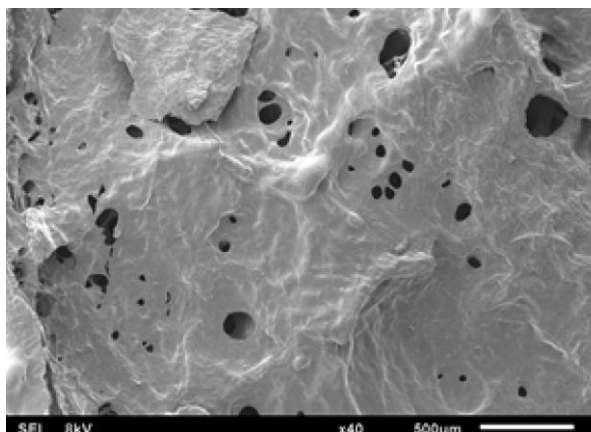
Figura 19 - Fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura de jaboticabas submetidas a pré-tratamentos (a) sem infusão em solução de cloreto de cálcio 4% e congelamento lento (b) com infusão em solução de cloreto de cálcio 4% e congelamento lento (c) sem infusão em solução de cloreto de cálcio 4% e congelamento rápido (d) com infusão em solução de cloreto de cálcio 4% e congelamento rápido.



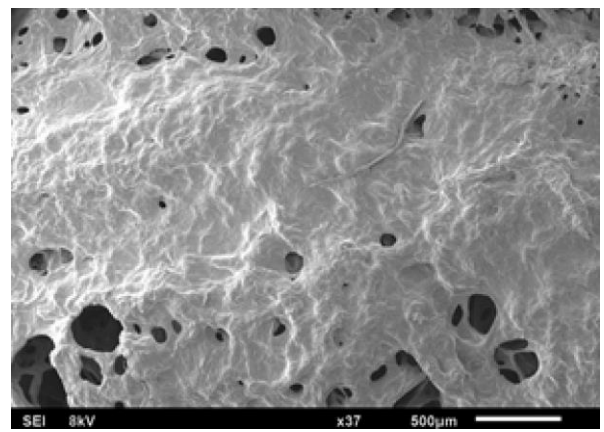
(a)



(b)



(c)



(d)

CLSC – Congelamento lento sem cloreto de cálcio; CLCC – Congelamento lento com cloreto de cálcio; CRSC – Congelamento rápido sem cloreto de cálcio; CRCC – Congelamento rápido com cloreto de cálcio.

Na Figura 19a e 19c observou-se que o tratamento sem cloreto de cálcio apresentou maior degradação da parede celular se comparado ao tratamento com a infusão em cloreto de cálcio, que apresenta estrutura celular mais espessa. Isto induz a concluir que a infusão em cloreto de cálcio fortaleceu a parede celular da jabuticaba nos processamentos com congelamento lento e rápido.

Paras tratamentos submetidos ao congelamento rápido, os congelamentos sem a infusão no cloreto de cálcio foram os tratamentos que apresentaram maior degradação, maior grau de ruptura da parede celular e maior perda de qualidade se comparados aos tratamentos com a infusão em cloreto de cálcio, que apresentaram estruturas mais íntegras.

Os tratamentos submetidos à infusão com cloreto de cálcio apresentaram resultados mais satisfatórios. Quanto ao tipo de congelamento (lento e rápido) (Figura 19) evidenciou-se que o tratamento que manteve melhor estrutura e qualidade da jabuticaba foi a combinação do congelamento rápido com a infusão em cloreto de cálcio.

Diversos trabalhos encontrados na literatura indicam que o tratamento com cálcio na pós-colheita tem sido efetivo em retardar a perda de firmeza em frutos. O congelamento é um dos métodos mais eficientes para a manutenção da qualidade de polpas de frutas (FERNANDES et al., 2010). No entanto, fatores como velocidade de congelamento e meio de resfriamento produzem efeitos substanciais na qualidade do produto congelado (COLLA e PRENTICE - HERNÁNDEZ, 2003). A velocidade de congelamento é um dos fatores mais importantes, visto que os produtos biológicos apresentam teor de água elevado e o tamanho e a forma dos cristais de gelo estão relacionados às taxas de congelamento. No congelamento lento, a taxa de congelamento vai decrescendo gradativamente (taxa de 0,2 - 0,5 cm/h), havendo a formação de grandes cristais de gelo, exclusivamente no meio extracelular. Em altas taxas de congelamento de taxa de 5,0 - 10,0 cm/h, ocorre a formação de pequenos cristais de gelo nos espaços intercelulares e intracelulares, em grande quantidade, com mínimo deslocamento de água (BELCHOIR, 2012).

Soares et. al., (2015), em seu estudo de polpa de coco verde submetida ao congelamento lento e rápido, observaram menores danos no congelamento rápido que no congelamento lento. Tal resultado, elucida novamente o efeito do tipo de congelamento que preservou melhor a microestrutura celular ao longo do tempo de armazenamento. Estes autores aplicaram congelamento por ar forçado e por ar estático, sendo o ar forçado um congelamento mais rápido

e concluíram que neste as células se mantiveram mais esféricas e íntegras, enquanto o congelamento por ar estático provocou maior estreitamento da parede celular e maior intensidade de danos à microestrutura celular. Portanto, o congelamento rápido resultou em qualidade superior das amostras avaliadas.

Assim, o melhor tratamento foi o congelamento rápido com a infusão em cloreto de cálcio, confirmando estudos anteriores que utilizaram o cloreto de cálcio para fortalecer a parede celular de frutas e o congelamento rápido que resulta em menores danos mecânicos causados por cristais de gelo em frutos.

5. CONCLUSÃO

Levando em consideração o congelamento lento (freezer) e rápido (ultra freezer) na manutenção da qualidade de frutas consumidas com casca (acerola) e sem casca (jaboticaba) observa-se que, para a acerola a infusão em cloreto de cálcio não interferiu de forma significativa nas análises, exceto na microestrutura; o congelamento lento ocasiona maiores danos e o congelamento rápido, combinado a liofilização, apresenta resultados mais satisfatórios para todas as análises realizadas.

Para a jaboticaba, a infusão em cloreto de cálcio altera, de forma significativa, apenas os resultados microestruturais; considerando o tipo de congelamento, o lento ocasiona maiores danos à estrutura da fruta. A colorimetria evidencia que o melhor tratamento para os parâmetros de cor é o congelamento rápido, combinado à liofilização; já para a comportamento reológico, a Lei da potência e o modelo de *Hershell-Bulkley* são os modelos que melhor ajustaram aos dados, caracterizando a jaboticaba congelada como fluido não Newtoniano pseudoplástico.

REFERÊNCIAS

- ADRIANO, E.; LEONEL, S.; EVANGELISTA, R. M. Qualidade de fruto da aceroleira cv. Olivier em dois estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, n. Especial, p. 541-545, 2011.
- AGUILEIRA, J. M. Why food microstructure? **Journal of Food Engineering**, v.67, n.1-2, p.3-11. 2005.
- AGOSTINI-COSTA, T.S.; ABREU, L.N.; ROSSETI, A.G. Efeito do congelamento e do tempo de estocagem da polpa de acerola sobre o teor de carotenoides. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 56-58, 2003.
- AL-ERYANI-RAQEED, A.; MAHMUD, T.M.M.; SYED OMAR, S.R.; MOHAMED ZAKI, A.R.; AL-ERYANI, A.R. Effects of calcium and chitosan treatments on controlling anthracnose and postharvest quality of papaya (*Carica papaya* L.). **International Journal of Agricultural Research**, New York, v.4, n.2, p.53-68, 2008.
- ALAMAR, P. D.; CARAMÉS, E. T. S.; POPPI, R. J.; PALLONE, J. A. L. Quality evaluation of frozen guava and yellow passion fruit pulps by NIR spectroscopy and chemometrics. **Food Research International**, v. 85, n. 7, p. 209-214, 2016.
- ALMEIDA, D. P. F.; HUBER, D. J. Apoplastic pH and inorganic ion levels in tomato fruit: a potential means for regulation of cell wall metabolism during ripening. **Plant Physiology**, v. 105, p. 506-512, 1999.
- ALMEIDA, J.I.L.; LOPES, J.G.V.; OLIVEIRA, F.M.M. **Produtor de acerola**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, Instituto Centro de Ensino Tecnológico, 2002. 40p.
- ALVES, R.E. Características das frutas para exportação. In: GORGATTI NETTO, A.; ARDITO, E.F.G.; GARCIA, E.E.C.; BLEINROTH, E.W.; FREIRE, F.C.O.; MENEZES, J.B.; BORDIN, M.R.; BRAGA SOBRINHO, R.; ALVES, R.E. (Ed.). **Acerola para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita**. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. p.9.
- ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOSCA, J.L.; CHITARRA, A.B.; MENEZES, J.B. Qualidade de acerolas congeladas e submetidas a aplicação pós-colheita de cálcio e aditivos. **Interamerican Society for Tropical Horticulture**, v. 46, p. 4-7, out. 2002.
- AMER, M. I.; RUBIOLO, A. C. Influência del proceso de congelación en la variación de la vitamina C durante el almacenamiento de frutillas congeladas. In: **congresso ibero-americano de ingenieria de alimentos**, 4., 1998, Bahía Blanca.
- ANDRADE JÚNIOR, V. C.; GUIMARÃES, A. G.; AZEVEDO, A. M.; PINTO, N. A. V. D.; FERREIRA, M. A. M. Conservação pós-colheita de frutos de morangueiro em diferentes condições de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3, p.405-411, 2016.
- ANCOS, B. et al. Influence of orange cultivar and mandarin postharvest storage on polyphenols, ascorbic acid and antioxidant activity during gastrointestinal digestion. **Food**

Chemistry, 2016.

ANESE R. de O.; FRONZA D. **Fisiologia pós-colheita em fruticultura** Santa Maria: UFSM, Colégio Politécnico: Rede e-Tec Brasil, 2015. 130 p.

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

ARAÚJO, F. M. M. C.; MACHADO, A. V.; LIMA, H. C.; CHITARRA, A. B Alterações físicas e químicas do fruto de jaboticabeira (*Myrciaria jaboticaba* Berg cv. Sabará) durante seu desenvolvimento. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v 5, n.2, p.209-116, 2010

ARAÚJO T.J; SANTOS N.C.; BARROS L.S.; MELO P. O. M.; NASCIMENTO S.P.A. Caracterização físico-química de polpas de acerola e graviola comercializadas em Campina Grande-PB. III Congresso internacional das ciências agrárias - COINTER - PDVAGRO 2018.

AROUCHA, E. M. M.; GOIS, V. A.; LEITE, R. H. L.; SANTOS, M. C. A. SOUZA, M. S. Acidez em frutas e hortaliças. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 5, n. 2, p. 01- 04, 2010.

ARPAIA M. L.; HOFSHI R. Preliminary report on the feasibility of “snap” harvesting “Hass” avocados. **Subtropical Fruit News**, v. 6, n. 2, p. 7-9, 1998.

ASCHERI, D.P.R.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. Caracterização da farinha do bagaço da jaboticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência de Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 867-905, 2006.

ASHRAE, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Refrigeration Handbook. **Food Storage and Equipment, Food Refrigeration**. Atlanta: 1998.

ASHRAE. Refrigeration. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, **Refrigerating and Air Conditioning** Engineers, Inc., 2002.

AWAD, M. Fisiologia pós-colheita de frutos. São Paulo: Nobel, 1993. 111p. AZEREDO, H. M. C. et al. Nanoreinforced alginate-acerola puree coatings on acerola fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 113, p. 505-510, 2012.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. An introduction to Rheology. Amsterdam: Elsevier Science **Publishers**, 1989. 199p

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. de. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317p.

BARROS R. S, FINGER F. L, MAGALHAES M. M. Changes in non-structural carbohydrates in developing fruit of *Myrciaria jaboticaba*.S. **Horticulturae**. 1996; 16: 209-215.

BECKER, B. R.; FRICKE, B. A. Freezing times of regularly shaped food items. **International**

Journal of Heat and Mass Transfer, Oxford, v. 26, n. 5, p. 617- 626, Sept. 1999.

BELCHIOR, N. C. **Transferência de calor no congelamento de polpa de maracujá**. 2012. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais – MG.

BEZERRA, C. V., SILVA, L. H. M. D., COSTA, R. D. S. D., MATTIETTO, R. D. A., & RODRIGUES, A. M. D. C. (2013). Comportamento reológico de suco misto elaborado com frutas tropicais. **Brazilian Journal of Food Technology**, 16(2), 155-162.

BOESSO, F F. **Caracterização físico-química, energética e sensorial de refresco adoçado de jaboticaba**. Dissertação mestrado UNESP — Campus de Botucatu 2014.

BOURNE, M. C., **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, p.325, 1982.

BRAMAN, K.; AHMAD, S.; SIDDIQUI, M.W. Factors affecting the quality of fruits and vegetables. In: SIDDIQUI, M. W. (Ed.). **Postharvest Biology and Technology of Horticultural Crops**. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 1-50.

BRASIL, Instrução normativa nº37 (2018). Estabelece o regulamento técnico para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpas e sucos de fruta. **Diário Oficial da União**, Seção 1, p.23.

BRITO K. D., OLIVEIRA L.S.C., DE LIMA A.G.B., SANTIAGO A.M., ALVES D.E.G.; **Avaliação do processo físico de congelamento da polpa de limão tahiti** (Citrus latifolia Tanaka) XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis - SC.

BRUNINI, M. A. et al. Caracterização física e química de acerolas provenientes de diferentes regiões de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 486-489, dezembro, 2004.

BRUNINI M. A, OLIVEIRA A. L, SALANDINI C. A. R. Influência de embalagens e temperatura no armazenamento de jaboticaba(vell) Berg cv sabará. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** 2004; 24: 378-383.

BUENO P. H. T., Universidade Federal de Uberlândia, faculdade de engenharia química, graduação em engenharia de alimentos, panorama **geral das perdas e desperdício de alimentos e soluções para o acesso à alimentação** patos de minas - MG 2019.

CARNEIRO, F.R.B.D. **Conservação de Polpa de Açaí por Métodos Combinados**. Campinas, 2000. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) — Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

CALGARO, M.; BRAGA, M. B. A cultura da Acerola. Coleção plantar acerola 69. 3edição revista e ampliada. **Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Brasília-DF. 2012. CDD 634.23, ISBN 978- 85-7035-130-2.144 - 149 p.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, ano 20, n. 71, p. 30-41, 2001.

CASTRO, T. M. N., ZAMBONI, P. V., DOVADONI, S., CUNHA NETO, A., RODRIGUES, L. J. (2015). Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas. Revista **Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo-SP, 74(4), 426 — 436.

CAVALCANTI, F. J. de A. (Coord.). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2 aproximação**. 2. ed. rev. Recife: IPA, 2008. 212 p. il.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 207 p.

CEDES – Centro de Estudos e Debates Estratégicos. **Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Perdas e desperdício de alimentos – estratégias para redução**. Série de cadernos de trabalhos e debates 3. Brasília, DF, pág. 260, 2018;

CHANG, Q. Rheology Properties. in: CHANG, Qing. **Colloid and interface chemistry for water quality control**. Lanzhou, Gansu, China: Chemical Industry Press, Elsevier, Cap. 6, p. 61-77, 2016.

CHEN, Y-L.; PAN, B.S. Morphological changes in tilapia muscle following freezing by airblast and liquid nitrogen methods. **International Journal of Food Science and Technology**; 32, 159-168, 1997.

CHEN, F.; LIU, H.; YANG, H.; LAI, S.; CHENG, X.; XIN, Y.; DENG, Y. Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. **Food Chemistry**, Washington, v.126, n.2, p.450-459, 2011.

CHHABRA, R.P.; RICHARDSON, J. **Non-newtonian flow and applied rheology: engineering applications**. 2. ed. USA: Elsevier Ltd, 518 p. 2008.

CHIN, J. F.; ZAMBIAZI, R. C.; RODRIGUES, R. da S. Estabilidade da vitamina C em néctar de acerola sob diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.15, n.4, p.321- 327, 2013.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed, Lavras: UFLA, 2005, p. 783.

CICALA, B. D. S., SILVA, F. D., FERNANDES, J. F., FRANCO, I. C., RAMOS, V. S., & DA SILVA, F. V. **Desenvolvimento de um sistema de determinação, em tempo real, das curvas de resfriamento e congelamento de frutas e hortaliças por ar forçado - XXV congresso de iniciação científica da UNICAMP**, 2017.

CITERNE, G.P.; CARREAU, P. J.; MOAN, M. Rheological properties of peanut butter. **Rheologica Acta**. V.40, p.86-96, 2001.

CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. Disponível em:

<<http://www.cie.co.at/>>. Acesso em: out. 2021.

COCOZZA, F. del M. **Maturação e conservação de manga Tommy Atkins à aplicação pós-colheita de 1-metilciclopropeno**. 2003. 198 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Pós-Colheita) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNANDEZ, C. **Congelamento e Descongelação: Sua Influência sobre os Alimentos**. Vetor, Rio Grande, v.13, n. 53, p. 53-66, 2003.

CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Avaliação do congelamento lento e rápido sobre a polpa de acerola liofilizada **Anais do Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos**. Vol. 2, 2015.

CORDENUNSI, B. R.; NASCIMENTO, J. R. O.; ASTORINO FILHO, R.; PURGATTO, E.; LAJOLO, F. M. Metabolismo de carboidratos no amadurecimento de frutos. In: Nascimento, L. M.; Negri, J. D.; Mattos Junior, D. **Tópicos em qualidade e pós-colheita de frutos**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. Cap.6, p.79-91.

COLLINS, P.; PLUMBLY, J. Natural colors — stable future? **European Food Research and Technology**, v. 49, n. 2, p. 64-70, 1995.

CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. Resfriamento de frutos e hortaliças. Brasília: **EMBRAPA Hortaliças**, 2002. 428 p.

COSTA, C.M. **Caracterização Reológica de Fluidos Complexos**. Rio de Janeiro. PUC- RJ, 2017. 18p.

CUNHA, K. D. et al. Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 139-145, 2014.

DANNER, M.A.; SASSO, S.A.Z.; CITADIN, I.; AMBROSIO, R.; SACHET, M.R.; MAZARO, S.M. Variabilidade da qualidade de frutos de jaboticabeiras de diferentes sítios de ocorrência da região Sudoeste do Paraná. In: congresso brasileiro de fruticultura, 20., Vitória, 2008. Anais... Vitória: **Sociedade Brasileira de Fruticultura**. 1 CD-ROM, 2008.

DELA BRUNA, F. (2019). **Influência do grau de maturação no armazenamento refrigerado sobre características físico-química de ameixa CV.'Pluma 7'**.

DE LIMA, T. L. B., CARNEIRO, E., DA, R. M. **Caracterização físico-química da casca de jaboticaba em diferentes estádios fisiológicos**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC' 2018 Maceió – AL.

DE PAULA GONÇALVES, M; JUNIOR, V. S. Cuidado com a velocidade de congelamento de alimentos em freezer doméstico. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 1, p. 2777-2784, 2021.

DONADIO, L.C.; ZACCARO, R.P. Valor nutricional de frutas. **Toda fruta**, 2016. Disponível em: < <https://www.todafruta.com.br/jaboticaba/>> Acesso em: dez 2021.

- DO NASCIMENTO, J. F., DOS SANTOS BARROSO, B., TOSTES, E. D. S. L., DA SILVA, A. D. S. S., DA SILVA JÚNIOR, A. C. S. **Análise físico-química de polpas de acerola (*Malpighia glabra* L.) artesanais e industriais congeladas.** PubVet, v. 12, p. 131, 2018.
- DOS SANTOS, A. L., DA SILVA SOARES, C. M., VELLANO, P. O., MORAIS, R. A., MOMENTÉ, V. G., DE SOUZA MARTINS, G. A., & DE SOUZA, A. R. M. (2020). Propriedades físico-químicas em polpas de frutos do cerrado in natura e liofilizada. **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, 7(Especial), 52-58.
- DUARTE, O., PLUDDERS E HUETE, M. **Extending storage life of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) fruits.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 14., 1996, Curitiba. Resumos. Curitiba: SBF, 1996. p. 556.
- EMPRAPA - Ciência que transforma: **Resultados e impactos positivos da pesquisa agropecuária na economia, no meio ambiente e na mesa do brasileiro.** 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortaliças>>. Acesso em: out. 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Coleção **Plantar: Acerola.** Brasília, DF, 2012. 150p
- ERICKSON, M.C; HUNG, Y.-C. **Quality in Frozen Foods.** Springer Science & Business Media. 1997.
- FANTE, C. A. **Caracterização, qualidade e conservação pós-colheita de maçã ‘Eva’ (*Malus* sp.).** 2011. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática.** 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.
- FELLOWS, P.J. Freezing. In: **Food Processing Technology: Principles and Practices.** 2^o ed. London: Woodhead Publishing Ltd., p. 418-439, 2000.
- FENNEMA, O.; POWRIE, W.; MARTH, E. **Low-temperature preservation of foods and living matter.** New York: M. Decker, 1973. 598 p.
- FERNANDES, T. N.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; RENO, M. J. Relação entre o comportamento reológico e a dinâmica do congelamento e descongelamento de polpa de morango adicionada de sacarose e pectina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.1, p.188-204, jan.-mar. 2010.
- FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P C. Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura. **Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2017.
- FERREIRA, M. J. A., RIBEIRO, L. D. O., DA MATTA, V. M., & FREITAS, S. (2018). Comportamento reológico de suco misto tropical à base de umbu. In Embrapa Agroindústria

de Alimentos-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **congresso brasileiro de ciência e tecnologia de alimentos**, 26., Belém, Pará, 2018. O Uso consciente da biodiversidade: perspectivas para o avanço da ciência e tecnologia de alimentos. Anais... Belém: SBCTA, 2018..

FERRY, J. D. (1980) **Viscoelastic properties of polymers**, 3a ed. Editora Jonh Wiley & Sons, New York.

FIGUEIREDO NETO, A. et al. **Determinação de vitamina C e avaliação físico-química em três variedades de acerola cultivadas em Petrolina-PE**. Nucleus, v. 11, n. 1, p. 83-92, 2014.

FIGUEIREDO, R. W. **Qualidade e bioquímica de parede celular durante o desenvolvimento, maturação e armazenamento de pedúnculos de cajueiro anão precoce CCP 76 submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio**. 2000. 154f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FIGUEIREDO, R.W.; LAJOLO, F.M.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MAIA, G.A.; SOUSA, P.H.M. Qualidade de pedúnculos de caju submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e armazenados sob refrigeração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.475- 482, 2007.

FLORES CANTILLANO, R. F., RIBEIRO, J., SEIFERT, M., & NOGUEIRA, D. (2015). Avaliação físico-química de pêssegos cv. eldorado minimamente processados e armazenados sob refrigeração. In **Embrapa Clima Temperado**-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPOSIO DE ALIMENTOS, 9., 2015, Passo Fundo. A indústria de alimentos e a saúde do consumidor:[anais]. Passo Fundo: UPF, 2015. Tecnologia de alimentos, trabalho T64. 6 p.

FLORES-CANTILLANO, R. F.; CASTAÑEDA, L. M. F.; TREPTOW, R. O.; SCHUNEMANN, A. P. P. Qualidade físico-química e sensorial de cultivares de morango durante o armazenamento refrigerado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Pelotas: Embrapa Clima Temperado**. 2008. 29 p.

FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. R.; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, London, v. 52, n. 2, p. 99-119, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS -FAO. **Save Food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. Definitional framework of food loss**. Working paper, p.18, publicado em: 27/02/2014. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Rome, Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-at144e.pdf> Acesso em: out. 2021.

FREITAS, K.; SILVA, S.; LOSS, R.; GUEDES, S. Influência dos estádios de maturação na caracterização físico-química dos tomates caqui (var. esculentum) e italiano (var. pyriforme). **Agrarian Academy**, v. 3, n. 06, 2016.

FREIRE, I. S. **Reologia escoamento e deformação da matéria**. 2012. Disponível em < www.sbirt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjc2NTc=>. Acesso em: mar 2022.

FREIRE JÚNIOR, M; CHITARRA, A. B. Efeito da aplicação do cloreto de cálcio nos frutos

da manga 'Tommy Atkins' tratados hidrotermicamente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 761-769, 1999.

GARCIA, L. G. C. (2014). **Aplicabilidade tecnológica da jaboticaba**. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

GARCIA, L. G. C. (2017). **Desenvolvimento fisiológico e conservação pós-colheita de jaboticaba**. (Doutorado em Agronomia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

GAZOLA, M. B. **Caracterização de polpas de bebidas à base de extrato hidrossolúvel de soja, amora, pitanga, martilho — análises reológicas, fotoquímicas, físico-químicas, microbiológicas e sensoriais**. 214f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2014. 512p.

GOMEZ-LIM, M. A. Postares Physiology. In: The Mango: Botany, production and uses. **CAB Internationale**, p. 425-446, 1997.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A.J.M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciênc. Tecnol. Alim.**, v. 24, n. 3, p. 384-389, 2004.

GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, ano 20, v. 72, p. 47-58, 2001.

GORAYEB, T. C. C.; MARTINS, F. H.; COSTA, M. V. C. G.; JUNIOR, J. G. C.; BERTOLIN, D. C.; DEZANI, A. A. (2019). **Estudo das perdas e desperdício de frutas no Brasil**. Ana is Syntegra.

GUERRA, A. M. N. de M. Avaliação das principais causas de perdas pós-colheita de hortaliças comercializadas em Santarém, Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Santarém, v. 12, n. 1, p. 32-40, jan. 2017. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es>> Acesso em: Mar 2022.

HANNA instruments, 2020 Disponível em: <<https://hannainst.com.br/medicao-de-brix-no-amadurecimento-de-frutas/>> Acesso em Mar. 2022.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v.2, n.4, p.393-418, 1971.

HUSSAIN, P.R.; MEENA, R.S., DAR, M.A., WANI, A.M. Effect of post-harvest calcium chloride dip treatment and gamma irradiation on storage quality and shelf-life extension of Red delicious apple. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.49, n.4, p.415-426, 2012.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit operations in food engineering**. USA: CRC Press, 873 p., 2003.

IBGE — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**, 2017. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo-agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76215>>. Acesso em: out. 2021.

IRFAN, P.K.; VANJAKSHI, V.; PRAKASH, M.N.; RAVI, R.; KUDACHIKAR, V.B. Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.82, p.70- 75, 2013.

IZIDORO, D. R. **Influência da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. 167p. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Tecnologia de Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2007.

JUNIOR, L. B. **Desenvolvimento de liofilizador para conservação de alimentos**. 2020. 29 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento Rural e Sustentável, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2020. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/>. Acesso em: 24 fev. 2021.

JUNQUEIRA, K. P.; PIO, R.; VALE, M. R. do; RAMOS, J. D. **Cultura da acerola**. Lavras, MG: UFLA, 2004. 27 p.

KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI Book, 1997. 532p.

KARWOWSKI, M. S. M. (2012). **Estudo da estabilidade, comportamento reológico e dos compostos fenólicos de frutas da Mata Atlântica**.

KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B; SARAVACOS, G. D. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. **Int. Journal of Food Science and Technology**, v.36, p.53-59, 2001.

KÖNIG, D. L.; **Liofilização aplicada a produtos cárneos avícolas**. 2016. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira

LARA, I.; GARCIA, P.; VENDRELL, M. Modifications in cell wall composition after cold storage of calcium-treated strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 34, p.331-339, 2004.

LAMIKANRA, O.; WATSON, M.A. Effect of calcium treatment temperature on fresh-cut cantaloupe melon during storage. **Journal of Food Science**, v.69, n. 6, 2004.

LEITE, L. de O. B. **Determinação física e numérica de corridas de lama resultantes de ruptura de barreira retendo material viscoplastico**. 2009.

LIMA, A.J.B.; CORREA, A.D.; ALVES, A.P.C.; ABREU, C.M.P.; BARROS, A.M.D. Caracterização do fruto jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) e de suas frações. **Archivos Latino americanos de Nutricion**, v.58, p.426- 421, 2008.

LIMA, V.L.A.G.; MUSSER, R.S.; LEMOS, M.A. et al. **Análise conjunta das características físico-químicas de acerola (*Malpighiaemarginata* D.C.) do banco ativo de germoplasma em Pernambuco**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém: SBF, 2002.

LIMA, V. L. A. G. et al. Avaliação do teor de antocianinas em polpa de acerola congelada provenientes de frutos de 12 diferentes aceroleiras (*Malpighia emarginata* D.C.). **Ciênc. Technol. Alim.**, v.23, n.1, p.101-103, 2003.

LUNA-GUZMAN, I.; CANTWELL, M.; BARRET, D.M. Freshcut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.17, p.201-213, 1999.

MAGWAZA, L. S.; OPARA, U. L. Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products - a review. **Scientia Horticulturae**, v. 184, p. 179— 192, 2015.

MARINI, G. A.; BAINY, E. M.; LENZI, M. K.; CORAZZA, M. L. Freezing and thawing of processed meat in an industrial freezing tunnel. **Acta Scientiarum. Technology**, v.36, n. 2, p. 361-368, 2014.

MARQUES, L. G. **Liofilização de Frutas Tropicais**. 2008, 255p. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, São Paulo.

MARQUES, E. C; COSTA, S. R. R. da. **Estudo da liofilização pela engenharia de produto no processamento industrial de alimentos**. *Acta Tecnológica*, São Luis, v. 10, n. 1, p. 44-52, jan. 2015. Disponível em: portaldeperiodicos.ifma.edu.br. Acesso em: 08 mar. 2022.

MACIEL, M. I. S. et al. Processing and storage of acerola (*Malpighia* sp.) fruits and its products. **J. Food Sci. Technol.**, v.36, n.2, p.142-146, 1999.

MACIEL, M. I. S.; MELO, E.; LIMA, V.; SOUZA, K. A.; SILVA, W. Caracterização físico-química de frutos de genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 865-869, 2010.

MENDONÇA, V. Z.; DAIUTO, E. R.; FURLANETO, K. A.; RAMOS, J. A.; FUJITA, E.; VIEITES, R. L.; TECCHIO, M. A.; CARVALHO, L. R. Aspectos físico-químicos e bioquímicos durante o armazenamento refrigerado do caqui em atmosfera modificada passiva. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 16-21, 2015.

MDITSHWA, A.; MAGWAZA, L. S.; TESFAY, S. T. Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 148-159, 2017.

MOHAMMED, M. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.). In: YAHIA E. M. Postharvest

biology and technology of tropical and subtropical fruits. **Philadelphia: Woodhead Publishing Limited**, cap. 2, 2011. p. 27-45.

MOK, J. H.; CHOI, W.; PARK, S. H.; LEE, S. H.; JUN, S Emerging pulsed electric field (PEF) and static magnetic field (SMF) combination technology for food freezing. **International Journal of Refrigeration**, v. 50, p. 137-145, 2015.

MOURA, C. F. H. et al. Avaliações físicas e físico-químicas de frutos de clones de aceroleira (*Malpighia emarginata* D. C.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 52-57, 2007.

MURGATROYD, K.; BUTLER, L. D.; KINNARNEY, K.; MONGER, P. **Good pharmaceutical freeze-drying practice**, Peter Cameron (ed.), 1997.

MUSTAFA, M.A. et al. Enhancing the antioxidant content of carambola (*Averrhoa carambola*) during cold storage and methyl jasmonate treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v. 118, p. 79-86, 2016.

NASSER, M. D.; ZONTA, A. Caracterização de frutos de genótipos de aceroleira em função de estádios de maturação. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 8, n. 5, p. 76-78, 2014.

NASSER, M. D.; DE CARVALHO, M.N.F. A.; FURLANETO, K. A.; RAMOS, J. A.; CAETANO, P. K. 1. Composição da acerola de diferentes genótipos em duas épocas de colheita. **Nativa**, v. 6, n. 1, p. 15-19, 2018.

NEVES, MVM das; LIMA, V. L. A. G. Efeito do congelamento sobre a estabilidade da polpa de acerola adicionada de extrato comercial de própolis. **Alimentos e Nutrição** Araraquara, v. 20, n. 1, p. 87-94, 2009.

NEVES, L. C.; SILVA, V. X.; PONTIS, J. A.; FLACH, A.; ROBERTO, S. R. Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh] fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 223-229, 2015.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; SILVA JÚNIOR, J.F. Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico— químicas dos frutos da aceroleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 463— 470, 2002.

NOGUEIRA, C. M.C. da C.D. **Estudo químico e tecnológico da acerola** (*Malpighia glabra* L.). Fortaleza, 1991. 119 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará.

NUNES, R.G.F.L. **Estudo do perfil de aminoácidos livres em acerola** (*Malpighia emarginata* D.C.). Fortaleza, 1996. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará

OBENLAND, D., COLLIN, S., SIEVERT, J., ARPAIA, M. L. (2013). Mandarin flavor and aroma volatile composition are strongly influenced by holding temperature. **Postharvest Biology and Technology**, 82, 6-14

OETTERER, M. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Manole, 2006. 664p.

OLIVEIRA, A. L. de et al. Caracterização tecnológica de jabuticabas' Sabará'provenientes de diferentes regiões de cultivo. **Revista brasileira de fruticultura**, v. 25, p. 397-400, 2003.

OLIVEIRA, N. J. C. **Liofilização como método de conservação aplicada à produtos de origem vegetal: uma revisão bibliográfica** – 2021. 35 f. : il. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2021.

OLIVEIRA, V. S. DE; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. DA. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 342-348, 2011.

OLIVEIRA, R. C., ROSSI, R. M., & DE BARROS, S. T. D. (2012). Estudo reológico da polpa de morango (*Fragaria vesca*) em diferentes temperaturas. **Acta Scientiarum. Technology**, 34(3), 283-288.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C. **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. Natal: IFRN, 2015, p. 234.

OLIVEIRA, S. N. D. **Liofilização de polpa de maracujá do mato (*Passiflora cincinnata* Mast.) para obtenção de produtos alimentícios**. 2016.

ORDÓÑEZ, J. A.; **Tecnologia de alimentos — componentes dos alimentos e processos** v.1, artmed. 2005.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technol.** v. 6, p. 36-60, 2013.

PANCHARIYA, P.C.; PoPoViC, d.; SHARMA, A.1. thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, new York, v.52, n.4, p.349-357, 2002.

PELEGRINE, D. H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi**. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

PEREIRA J M A T K, OLIVEIRA K A M, SOARES N F F, GONÇALVES M P J C, PINTO C L O, FONTES E A F. Avaliação da qualidade físico-química, microbiológica e microscópica de polpas de frutas congeladas comercializadas na cidade de Viçosa- MG. **Alim Nutr.** 2006.

PEREIRA MCT, SALOMÃO LCC, MOTA WF DA, VIEIRA G. Atributos físicos e químicos de frutos de oito clones de jabuticabeiras. **Rev. Bras. de Frutic.** 2000; 22: 16- 21.

POMPEU, D. R.; BARATA, V. C. P.; ROGEZ, H. Impacto da refrigeração sobre variáveis de qualidade dos frutos do açaizeiro (*Euterpe oleracea*) **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 1, p. 141-148, 2009.

PONCE, N. M. et al. Compositional changes in cell wall polysaccharides from Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during growth and on tree ripening. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 2562-2570, 2010.

PORTAL SÃO FRANCISCO, 2022 Disponível em: <
<https://www.portalsaofrancisco.com.br/>> Acesso em: Mar/2022.

PRICE, C. J. Take some solid steps to improve crystallization. **Chemical Engineering Progress**, 93 (1997), pp. 34-43.

RAO, M. A. Rheology of liquid foods - a review. **Journal of Texture Studies**, v. 8, n. 2, p. 135-168, 1977.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; DATTA, A. K. **Engineering Properties of Foods**. 3. ed. Boca Raton - FL: CRC Press, 738 p. 2005.

RAO, M.A.; COOLEY, H.J. Rheological behavior of tomato pastes in steady and dynamic shear. **Journal of Texture Studies**, v.23, p.415-425, 1992.

RESENDE, F. de S. **Efeito do congelamento sobre a microestrutura da massa do pão**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

REZENDE, P. L. R.; PINTO, E. G. **Caracterização Das Propriedades Físico- Químicas Da Casca E Da Polpa Da Jabuticaba**. IV Congresso Estadual de Iniciação Científica do IF Goiano, 2015.

RIBEIRO, B. S. **Padrão respiratório, refrigeração e atmosfera modificada na conservação pós-colheita de cultivares de acerola**. Dissertação (Pós-graduação em Agronomia — Produção Vegetal) — Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, 2017.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2007. 184 p

RINALDI M.M.; Perdas pós-colheita devem ser consideradas. **Revista cultivar**, 2018. Disponível em: < <https://www.srupocultivar.com.br/artigos/perdas-pos-colheita-devem-ser-consideradas>> Acesso em: out. 2021.

RINALDI, M. M.; COSTA, A. M.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. Post-harvest conservation of *Passiflora setacea* DC. fruits submitted to different sanitizers and storage temperatures. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016046, 2017

RITZINGER, R.; RITZINGER, C. H. S. P. Acerola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 264, p. 17-25, 2011.

ROÇA, R. O. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. Botucatu: UNESP, 1999. 201 p.

ROCHA, O. F. L.; SIQUEIRA, C. A.; GARCIA, A.; Heat Flow Parameters Affecting Dendrite Spacings During Unsteady State Solidification of Sn-Pb and Al-Cu Alloys. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v.34, p. 995-1006, 2003.

ROLLE, R.; CHISM, G.W. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, Oxford, v.10, 1987

SÁNCHEZ, M. T.; PÉREZ-MARÍN, D.; FLORES-ROJAS, K.; GUERRERO, J. E.; GARRIDO-VARO, A. Use of near-infrared reflectance spectroscopy for shelf-life discrimination of green asparagus stored in a cool room under controlled atmosphere. *Talanta*, Oxford, v. 78, n. 2, p. 530-536, 2009.

SANTOS, C. de A. **Estudo da transferência de calor durante o congelamento de cortes de aves em caixas de papelão ondulado**. Florianópolis — SC, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, J. C. dos. **Estudo do processo de liofilização da polpa da graviola (*Annona muricata* L.) e avaliação da qualidade nutricional e sensorial do produto**. 2011.

SANTOS, R. O. **Avaliação físico-química de acerola cv. Junko cultivada em Petrolina-PE**. 2016.

SANTOS, N. S.; DE SALES S, J. C.; DE ALMEIDA, A C., LIMA, K. F.; SILVA, F. G. A. Caracterização da conservação refrigerada da acerola (*Malpighia emarginata*) sob atmosfera modificada. *Diversitas Journal*, v. 5, n. 1, p. 12-19, 2020.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. Effect of particle size on rheological properties of jaboticaba pulp. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 91, n. 4, p. 566-570, 2009.

SCALON, S. P. Q. **Qualidade do morango: Efeito do CaCl₂ sobre a parede celular e níveis residuais de Benomil**. Lavras: UFV, 1996. 105f. Tese Doutorado.

SCHRAMM, G. **A Practical Approach to Rheology and Rheometry**. 2. ed. Federal Republic of Germany: Karlsruhe, Gebrueder Haake GmbH, 1998.

SCHRAMM, G. **Reologia e Reometria. Fundamentos Teóricos e Práticos**. São Paulo: Artiber, 2006.

SCHULZ, P., HERDE, M., E ROMEIS, T. (2013). Calcium-dependent protein kinases: Hubs in plant stress signaling and development. *Plant physiology*, v.163, n.2, p.523-530.

SHEWFELT, R. L., THAI, C. M.; DAVIS, J. W. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *J. Food Sci.* 53, p. 1433- 1437, 1988.

SILVA, P.A. et al. Modificações nas atividades da poligalacturonase e pectinametilsterase em morangos armazenados à temperatura ambiente. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, p. 1953-1958, 2009.

SILVA, W. B., SILVA, G. M. C., SILVA, L. R. D., WALDMAN, W. R., & OLIVEIRA, J. G. D. (2015). Tratamento com cloreto de cálcio na pós-colheita retarda o desverdecimento e a perda de firmeza do mamão UENF/CALIMAN01. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37, 588-599.

SILVA, R. D. A. (2014). **Efeito do pré-tratamento ácido seguido de básico na hidrólise enzimática do bagaço de acerola**. Universidade Federal De Campina Grande Centro De Ciências E Tecnologia Unidade Acadêmica De Engenharia Química Programa De Pós-

Graduação Em Engenharia Química

- SILVA, M. F. V. **Efeito dos diferentes tratamentos e embalagens nas características da polpa de acerola e na determinação dos teores de ácido ascórbico e das antocianinas durante o armazenamento.** 1999. 224 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1999.
- SILVÉRIO, G. A. e OLTRAMARI, K. **Desperdício de alimentos em Unidades de Alimentação e Nutrição brasileiras.** *Ambiência*, Guarapuava (PR), v.10, n° 1, p. 125 — 133, Jan./Abr., 2014.
- SILVA, E. P.; VILAS BOAS, E. V. B.; RODRIGUES, L. J.; SIQUEIRA, H. H. Caracterização física, química e fisiológica de gabioba (*Campomanesia pubescens*) durante o desenvolvimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 803-809, 2009.
- SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RAMOS, A. M.; GONZAGA, M. L. C.; LIMA, A. S. **Comportamento reológico de bebidas mistas de cajá e manga adicionadas de prebióticos.** *Boletim do Centro de Pesquisa Processamento de Alimentos*, v. 30, p. 75-82, 2012.
- SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RAMOS, A. M.; HOLANDA, D. K. R.; VIEIRA, N. M. Ajuste dos parâmetros reológicos de polpas de acerola, caju e manga em função da temperatura: Modelos de Ostwald-de-Waele, Herschel-Buckley e Casson. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 1, p. 37-49, 2012.
- SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; AFONSO, M. R. A. A.; GONZAGA, M. L. C.; CARMO, J. S. Efeito da temperatura no comportamento reológico de néctares mistos de caju, manga e acerola. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, Supl.1, p. S85-S93, 2013.
- SIQUEIRA, H.H., VILAS BOAS, B.M., JOSÉ DANIEL SILVA, J.D., NUNES, E.E., LIMA, L.C.O., SANTANA, M.T.A. Armazenamento de morango sob atmosfera modificada e refrigeração. **Ciência e Agrotecnologia**, vol. 33, no.spe. Lavras 2009.
- SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introducción a la ingeniería de los alimentos.** Zaragoza (España): Acribia, 1997.
- SIRIUS TECHNOLOGY, **Ultra congelador -86°C.** Disponível em: <https://siriustechnolocv.com.br/ultra-congelador-86c/> Acesso em: out. 2021.
- SOARES G. L., DAIUTO E. R., MENDONÇA V. Z., VIETES R. L. Caracterização físico-química de polpa de coco verde submetida ao congelamento lento e rápido. **Nativa, Sinop**, v.03, n.03, p.185-190, jul./set.2015 Pesquisas Agrárias e Ambientais doi: 10.14583/2318-7670. v. 03 n. 03 a 06 <http://www.ufmt.br/nativa> ISSN: 2318-7670.
- SOUZA, M. C. de. **Qualidade e atividade antioxidante de frutos de diferentes progênies de açazeiro (Euterpe oleracea Mart).** 2007. 124f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUSA K. D. Sousa; FONSECA K R; CINTRA L. M.; DIAS A.A. S.; CRUZ T. H. G.; CAMPOS J. A. **atmosfera modificada na qualidade pós-colheita de jabuticaba**, IV Congresso de ensino, pesquisa e extensão da UEG 2018.

STEFFE, J. F.; DAUBERT, C. R. **Bioprocessing pipelines: Rheology and analysis**. East Lansing - USA: Freeman Press, 159 p. 2006.

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. Freeman Press, 412p., 1996.

SUGUINO, E., MARTINS, A. N., TURCO, P. H. N., CIVIDANES, T. D. S., & FARIA, A. D. (2012). A cultura da jabuticabeira. **Pesquisa e tecnologia**, v. 9, n. 1, p. 1- 7, 2012.

TAAIN, D. A., IBRAHIM, M. A. A. H., E AL-SAREH, E. A. (2011). A study on the effect of postharvest calcium chloride treatments on the storability of mango fruits (*Mangifera indica* L.). *Dirasat: Agricultural Sciences*, v.37, n.2.

TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. São Paulo: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação, UNICAMP. - 4. ed. rev. e amp1..- Campinas, 2011. 161 p.

TATTINI JR., V. PARRAI, D. F.; PITOMBO, R. N. M. Influência da taxa de congelamento no comportamento físico-químico e estrutural durante a liofilização da albumina bovina. **Rev. Bras. Ciênc. Farm.**, v.42, n.1, 2006.

TEMÓTEO, J. L. M., GOMES, E. M. S., SILVA, E. V. L., CORREIA, A. G. S., SOUSA, J. D. S. (2012, August). **Avaliação de vitamina C, acidez e pH em polpas de acerola, cajá e goiaba de uma marca comercializada em Maceió-Alagoas**. In VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação.

URBANO G. R.; ZEPONI J.; SEIBEL F. N.; SAKANATA S. L. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-química e microbiológica de polpa de acerola congelada. **RETEC**, Ourinhos, v.4, n.2, p.0-0, jul./dez., 2011.

VAN WAZER, J.R. et al. Viscosity and Flow Measurement: A Laboratory Handbook of Rheology. New York, London, Sydney: **Monsanto Chemical Company**, 406 p.1963.

VICENTE, A. R. et al. Review The linkage between cell wall metabolism and fruit softening: looking to the future. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, p. 1435-1448, 2007.

VIDAL, J.R.M.B.; BRANCO, I.G.; GASPARETTO, C.A. Reologia de polpa de manga (*mangífera indica* L. Keitt). In: XVII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos, 2000, Fortaleza. **Livro de resumos**. Fortaleza: Expressão Gráfica Digital, 2000, v.4, p. 6-20.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 50-58, jan./mar. 2012.

WERNER, E.T.; JUNIOR-OLIVEIRA, L.F.G.D.; BONA, A.P.D.; CAVATI, B.; GOMES,

T.D.U.H. **Efeito do cloreto de cálcio na pós-colheita de goiaba ‘Cortibel’**. *Bragantia*, Campinas, v.68, n.2, p.511- 518, 2009.

YAHIA, M. E. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.) in: *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Açaí to citrus* 1 ed. v. 2, Cambridge: **Woodhead Publishing Limited**, p. 27-45. 2011.

YAMAMOTO, E.L., FERREIRA, R.M., FERNANDES, P. L. O., ALBUQUERQUE, L. B., ALVES, E. O. (2011). Função do cálcio na degradação da parede celular vegetal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.2. p. 49-55.