



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

MARIA KAROLINA DE ARAÚJO BARROSO

**PROCESSAMENTO DE SUCO DE CAJU (*Anacardium occidentale*) POR
TECNOLOGIAS NÃO TÉRMICAS: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-
QUÍMICAS E COMPOSTOS BIOATIVOS**

FORTALEZA

2019

MARIA KAROLINA DE ARAÚJO BARROSO

PROCESSAMENTO DE SUCO DE CAJU (*Anacardium occidentale*) POR TECNOLOGIAS
NÃO TÉRMICAS: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E
COMPOSTOS BIOATIVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador(a): Prof. Dra. Sueli Rodrigues
Coorientador(a): Dra. Thatyane Vidal Fonteles

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B285p Barroso, Maria Karolina de Araújo.
Processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale*) por tecnologias não térmicas: efeitos nas características físico-químicas e compostos bioativos / Maria Karolina de Araújo Barroso. – 2019.
83 f. : il.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Sueli Rodrigues.
Coorientação: Prof. Dr. Thatyane Vidal Fonteles.
1. Ultrassom. 2. Ozônio. 3. Luz pulsada. 4. Compostos bioativos. 5. Peroxidase. I. Título.
- CDD 660
-

MARIA KAROLINA DE ARAÚJO BARROSO

PROCESSAMENTO DE SUCO DE CAJU (*Anacardium occidentale*) POR TECNOLOGIAS
NÃO TÉRMICAS: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E
COMPOSTOS BIOATIVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em: 29/04/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sueli Rodrigues (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Maria Correia da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Edy Sousa de Brito
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

A Deus.

A minha mãe, Maria Ivoneide.

AGRADECIMENTOS

Por todo esse tempo de muito aprendizado quero expressar meus sinceros agradecimentos:

À Deus, meu Senhor, meu salvador e meu porto seguro, por me ter concedido o dom da vida e todas as graças que eu precisei para viver o mestrado.

A Nossa Senhora, agradeço pela sua intercessão fiel e intercessão de mãe.

Aos meus pais, Maria Ivoneide de Araújo e Francisco Barroso Moreira, por todo amor, apoio, cuidado, dedicação que me fizeram chegar até aqui.

À Prof. Dra. Sueli Rodrigues pela paciência comigo, por todo aprendizado que me proporcionou e pela acolhida no Labiotec.

À Dra. Thatyane Vidal, que tanto me ajudou, compartilhando seus conhecimentos comigo e com quem eu sempre pude contar nos momentos que eu mais precisei.

Ao pesquisador Dr. Edy de Sousa Brito, pelas críticas construtivas que me fizeram crescer profissionalmente e pela sua contribuição na qualificação e defesa.

Ao Prof. Dr. José Maria, que foi meu professor na graduação e aceitou o convite para fazer parte da minha banca de qualificação e defesa, agradeço por toda sua colaboração para a minha dissertação.

Ao meu namorado, Davi Lacerda, por todo seu amor, cuidado e atenção que tanto me ajudam a caminhar.

À minha amiga e irmã de comunidade, Dayana Meneses, pelo seu testemunho de vida, que tanto me edificou, pela sua amizade, sua escuta e sua ajuda nos momentos difíceis.

À minha amiga, Ronyele Maciel, pela sua amizade, por sempre estar disposta a me ajudar, a tirar minhas dúvidas e pelas boas risadas.

À toda a equipe Labiotec, à Priscila Maria, à Fátima, à Karoline Leite, à Iane, ao Ronnyele Braz, à Andressa, à Elaine por toda ajuda, pelo companheirismo no trabalho e pelos bons momentos que passamos juntos.

A todos meus amigos, companheiros de mestrado, Darlysson, Raquel, Liana, Ravena, Jorge, Renata Kelly, Renato, pelos difíceis e bons momentos que passamos juntos, dos quais nunca vou esquecer.

A toda minha família, agradeço por todo amor e carinho. Em especial ao meu Padrinho Alisson Vinicius, com quem eu sempre pude contar.

À Universidade Federal do Ceará pela formação acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de financiamento 001. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Instituto Nacional de Frutos Tropicais (INCT-FT) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio financeiro e bolsa recebida.

“Tudo gira ao Teu redor, tudo fala de Ti.

E não importa o como, o quando e o porquê.”

Focolares

RESUMO

Os consumidores estão cada vez mais preocupados com uma dieta mais saudável e prática. Assim, a indústria de alimentos está investindo em novas tecnologias que proporcionem alimentos menos processados e livres de conservantes químicos. A principal tecnologia de conservação utilizada pela indústria de suco de frutas é o tratamento térmico que afeta as características nutricionais e organolépticas dos alimentos devido ao calor aplicado. Por isso, tecnologias não-térmicas que usam outros métodos de conservação estão sendo estudadas. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da aplicação de ultrassom, ozônio e luz pulsada nos compostos bioativos e nas características físico-químicas do suco de caju e compará-los aos efeitos do tratamento térmico. Os resultados mostraram que o ultrassom (372,93 W/cm²; 20 °C; 10 min) aumentou significativamente ($p < 0,05$) a capacidade antioxidante do suco de caju em 28% (3043 eq. de μM de ácido ascórbico), enquanto que o tratamento térmico diminuiu essa capacidade na mesma porcentagem (1685 eq. de μM de ácido ascórbico). O conteúdo de flavonoides amarelos aumentou em 24% (0,46 mg/100mL) e a vitamina C foi preservada em todos os ensaios ultrassônicos. A atividade da peroxidase, enzima responsável pelo escurecimento em sucos de frutas, diminuiu 90%. O ozônio aplicado na concentração de 0,24 mgO₃/mL conservou a atividade antioxidante (2263 eq. de μM de ácido ascórbico) e a atividade enzimática da peroxidase foi reduzida em 90%. No entanto, essa tecnologia diminuiu ($p < 0,05$) os flavonoides e a vitamina C do suco de caju. Já a tecnologia de luz pulsada aplicada na intensidade de 1 J/cm² aumentou ($p < 0,05$) a atividade antioxidante em 40% (2280,2 eq. de μM de ácido ascórbico). Os resultados para os flavonoides e vitamina C demonstraram que o processamento conservou as concentrações iniciais desses compostos. A atividade enzimática da peroxidase diminuiu 32%. Portanto, pode-se concluir que essas tecnologias podem ser utilizadas sozinhas ou combinadas com outros tratamentos no processamento de suco de caju para conservar melhor suas características naturais.

Palavras-chave: Ultrassom. Ozônio. Luz pulsada. Compostos bioativos. Peroxidase.

ABSTRACT

Consumers are increasingly concerned about a healthier and more practical diet. Thus, the food industry is investing in new technologies that provide food less processed and free of chemical preservatives. The main conservation technology used by the fruit juice industry is the heat treatment that affects the nutritional and organoleptic characteristics of foods due to the heat applied. Therefore, non-thermal technologies that use other conservation methods are being studied. The objective of this work was to study the effects of the application of ultrasound, ozone and pulsed light on the bioactive compounds of cashew juice and compare them to the effects of the heat treatment. The results showed that the antioxidant capacity of cashew juice increased by 28% (3043 μM ascorbic acid equivalent), whereas the antioxidant capacity of cashew juice increased significantly ($p < 0,05$) by 372,93 W/cm^2 , 20 $^{\circ}\text{C}$, 10 min, while the heat treatment reduced that capacity by the same percentage (1685 μM ascorbic acid equivalent). The content of yellow flavonoids increased by 24% (0,46 $\text{mg}/100 \text{ mL}$) and vitamin C was preserved in all ultrasonic assays. The activity of peroxidase, the enzyme responsible for darkening in fruit juices, decreased by 90%. Ozone applied at the concentration of 0,24 mgO_3/mL retained the antioxidant activity (2263 μM ascorbic acid equivalent). The enzymatic activity of peroxidase was reduced by 90%. However, this technology decreased ($p < 0,05$) the flavonoids and vitamin C of cashew juice. However, the pulsed light technology applied at the intensity of 1 J/cm^2 increased ($p < 0,05$) the antioxidant activity by 40% (2280,2 μM ascorbic acid equivalent). The results for flavonoids and vitamin C demonstrated that the processing retained the initial concentrations of these compounds. The enzymatic activity of peroxidase decreased by 32%. Therefore, it can be concluded that these technologies can be used alone or in combination with other treatments in the processing of cashew juice to improve the preservation of its natural characteristics.

Keywords: Ultrasound. Ozone. Pulsed light. Bioactive compounds. Peroxidase.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fenômeno da Cavitação ultrassônica e exemplo de como a microbolha de cavitação age no tecido celular	22
Figura 2 – Produção de ozônio por efeito Corona	25
Figura 3 – Desruptor ultrassônico de macro ponta de titânio	38
Figura 4 – Gerador de ozônio	40
Figura 5 – Emissor de Luz pulsada	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para a atividade antioxidante	70
Gráfico 2 – Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para os flavonoides amarelos.....	70
Gráfico 3 – Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para a Vitamina C	71
Gráfico 4 – Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para a atividade residual da peroxidase	71
Gráfico 5 – Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para o índice de saturação (ΔC)	72
Gráfico 6 – Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para a diferença total de cor (ΔE)	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planejamento experimental fatorial (2^3) aplicado ao processamento ultrassônico	39
Tabela 2 – Resultados dos efeitos do Ultrassom na atividade antioxidante (ABTS) do suco de caju	46
Tabela 3 – Resultados dos efeitos do Ultrassom na atividade antioxidante (DPPH) do suco de caju	48
Tabela 4 – Resultados dos efeitos do Ultrassom na atividade antioxidante (FRAP) do suco de caju	49
Tabela 5 – Resultados dos efeitos do Ultrassom sobre os flavonoides amarelos do suco de caju	50
Tabela 6 – Resultados dos efeitos do Ultrassom sobre a vitamina C do suco de caju	51
Tabela 7 – Resultados do efeito do ultrassom na atividade peroxidásica do suco de caju	53
Tabela 8 – Resultados do efeito do ultrassom na Cor do suco de caju	55
Tabela 9 – Resultados do efeito do ozônio sobre a atividade antioxidante (ABTS) do suco de caju	57
Tabela 10 – Resultados do efeito do ozônio sobre a atividade antioxidante (DPPH) do suco de caju	57
Tabela 11 – Resultados do efeito do ozônio sobre a atividade antioxidante (FRAP) do suco de caju	57
Tabela 12 – Resultados do efeito do ozônio sobre os flavonoides amarelos do suco de caju	58
Tabela 13 – Resultados do efeito do ozônio sobre os Vitamina C do suco de caju	59
Tabela 14 – Resultados do efeito do ozônio na atividade peroxidásica do suco de caju ..	60
Tabela 15 – Resultados do efeito do ozônio sobre a cor do suco de caju	61
Tabela 16 – Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre a atividade antioxidante	

(ABTS) do suco de caju	63
Tabela 17 – Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre a atividade antioxidante (DPPH) do suco de caju	64
Tabela 18 – Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre a atividade antioxidante (FRAP) do suco de caju	64
Tabela 19 – Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre os flavonoides amarelos do suco de caju	66
Tabela 20 – Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre a Vitamina C do suco de caju	66
Tabela 21 – Resultados do efeito da luz pulsada na atividade peroxidásica do suco de caju	67
Tabela 22 – Resultados do efeito da luz pulsada na Cor do suco de caju	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Processamento térmico	19
2.2	Ultrassom	21
2.3	Ozônio	24
2.4	Luz Pulsada	27
2.5	Caju	29
2.6	Suco de caju	31
2.7	Compostos bioativos	33
2.8	Enzimas	35
3	OBJETIVO	37
3.1	Objetivo Geral	37
3.2	Objetivos específicos	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1	Preparo do Suco	38
4.2	Processamentos	38
4.2.1	<i>Ultrassom</i>	38
4.2.1.1	<i>Cálculo de Intensidade de energia ultrassônica</i>	39
4.2.1.2	<i>Planejamento Experimental</i>	39
4.2.2	<i>Ozônio</i>	40
4.2.3	<i>Luz Pulsada</i>	40
4.2.4	<i>Processamento Térmico</i>	41
4.3	Análise Estatística	41
4.4	Métodos Analíticos	41
4.4.1	<i>Determinação da Atividade Antioxidante Total</i>	41
4.4.1.1	<i>Extração</i>	42
4.4.1.2	<i>Método ABTS</i>	42
4.4.1.3	<i>Método DPPH</i>	42
4.4.1.4	<i>Método FRAP</i>	43
4.4.2	<i>Determinação de Compostos Antioxidantes</i>	43
4.4.2.1	<i>Flavonoides Amarelos</i>	43

4.4.2.2	<i>Vitamina C</i>	44
4.4.3	Atividades Enzimáticas	44
4.4.3.1	<i>Extração</i>	44
4.4.3.2	<i>Atividade de Polifenoloxidase</i>	44
4.4.3.3	<i>Atividade de Peroxidase</i>	45
4.4.4	<i>Cor</i>	45
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	46
5.1	Ultrassom	46
5.1.1	<i>Atividade Antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP)</i>	46
5.1.2	<i>Flavonoides Amarelos</i>	49
5.1.3	<i>Vitamina C</i>	51
5.1.4	<i>Enzimas</i>	53
5.1.5	<i>Cor</i>	55
5.2	Ozônio	56
5.2.1	<i>Atividade Antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP)</i>	56
5.2.2	<i>Flavonoides Amarelos e Vitamina C</i>	58
5.2.3	<i>Enzimas</i>	59
5.2.4	<i>Cor</i>	61
5.3	Luz Pulsada	63
5.3.1	<i>Atividade Antioxidante e Compostos bioativos</i>	63
5.3.2	<i>Enzimas</i>	67
5.3.3	<i>Cor</i>	68
6	TRATAMENTO TÉRMICO	69
7	RESUMO COMPARATIVO	69
8	CONCLUSÃO	73
9	PERSPECTIVAS FUTURAS	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Atualmente os consumidores estão cada vez mais determinados a terem uma alimentação mais saudável e devido a rotina intensa do dia-a-dia também exigem praticidade. As frutas e seus produtos, como o suco, é uma das principais escolhas desses consumidores. Os sucos de frutas prontos para beber encontrados nos supermercados passam por um tratamento térmico que utiliza o calor para inativar enzimas e microrganismos, garantindo a segurança alimentar e melhorando a vida útil do produto, porém resulta na degradação da qualidade nutricional, especialmente dos antioxidantes (ABID *et al.*, 2014; RAWSON *et al.*, 2011).

Devido a isso novas tecnologias que utilizam outras formas de conservação, como uso de alta pressão, pulsos luminosos, irradiação, campos elétricos de alta intensidade, ultrassom, ozônio e campos magnéticos, estão sendo estudadas para aplicação em várias matrizes alimentares. A indústria de sucos é uma das mais interessadas na aplicação dessas tecnologias devido a sensibilidade desses produtos ao calor.

O ultrassom têm sido uma tecnologia promissora na área de ciência e tecnologia de alimentos. Esse processo faz uso de fenômenos físicos (colapsos altamente energéticos de microbolhas e ondas de choque) e químicos (produtos de oxidação formados devido a condições de mudanças de temperatura e pressão) capazes de substituir totalmente ou em parte as técnicas convencionais de extração, processamento ou preservação de alimentos. As principais vantagens estão na produtividade, menor tempo de processamento, economia de energia, homogeneidade e melhor qualidade dos produtos tratados quando comparados à pasteurização (PUTNIK *et al.*, 2019).

O ozônio é um forte oxidante que se decompõe rapidamente em oxigênio, não deixando resíduos tóxicos nos alimentos (TIWARI *et al.* 2008). Tem um amplo espectro antimicrobiano que o torna uma opção atraente para a indústria alimentícia. Em 2001, foi aprovado pela Food and Drug Administration para aplicação como um aditivo alimentar direto para o tratamento, armazenamento e processamento de alimentos (FDA, 2001). Têm sido utilizado no processamento de vários sucos de frutas, incluindo; suco de melão *Cantaloupe* (FUNDO *et al.*,2018) e suco de laranja (TIWARI *et al.*, 2008).

A tecnologia de luz pulsada age como um descontaminante e utiliza luz intensa de amplo espectro por curtos períodos de tempo, onde a porção de luz ultravioleta é identificada como a principal responsável pelo efeito antimicrobiano do tratamento, porém a grande vantagem da luz pulsada sobre o uso da luz UV é a necessidade de menor tempo para inativar

os microrganismo. Os mecanismos de inativação microbiana utilizados pela luz pulsada têm sido associados aos danos causados por alterações fotoquímicas no material genético e por aquecimento localizado (AVALOS-LLANO; MARTÍN-BELLOSO; SOLIVA-FORTUNY, 2018). Em 2015, a tecnologia de luz pulsada, foi aprovada pela Food and Drug Administration dos EUA para o tratamento de alimentos com uma dose máxima de 12 J/cm² (FDA, 2015).

No Brasil, essas três tecnologias são pauta em debate e estudadas por pesquisadores, mas ainda não são regulamentadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), responsável nacional por legalizar o uso de tecnologias aplicadas em alimentos.

Na região nordeste do Brasil, o caju (*Anacardium occidentale L.*) é uma fruta que possui grande importância socioeconômica. É nativo da América Tropical, constituído pelo pedúnculo desenvolvido (pseudofruto) que é ligado a castanha (fruta real composta de casca e miolo). O pedúnculo do caju é considerado uma boa fonte de vitamina C e compostos fenólicos, usado para preparar sucos, polpa e conservas (RUFINO *et al.*, 2010; RUFINO *et al.*, 2009; DE BRITO *et al.*, 2007).

Desse modo, visando contribuir com o desafio das indústrias de oferecer produtos cada vez mais frescos, agregar valor ao produto, gerar renda no mercado interno e externo e satisfazer os consumidores, o objetivo do atual trabalho foi estudar as tecnologias não-térmicas: ultrassom, ozônio e luz pulsada, verificando seus efeitos nos compostos bioativos e características físico-químicas do suco de caju. Sendo uma pesquisa relevante como ponto de partida para a aplicação dessas tecnologias em indústrias de sucos de frutas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processamento Térmico

O suco de caju possui alta umidade e alto teor de açúcar, por isso, são propensos à rápida deterioração microbiana e por isso passam por tratamento térmico com o objetivo de alcançar inativação microbiológica e enzimática para aumentar a vida de prateleira desses produtos.

A Administração de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos (FDA) para classificar um processo como apto a esterilização comercial exige que ele alcance uma redução de ≥ 5 -log (99,9%) de patógenos em sucos de frutas e vegetais processados (FDA, 2001).

As enzimas que participam da defesa das células vegetais, acabam gerando sabores e cores indesejáveis nas frutas e conseqüentemente nos seus sucos após o processamento, por isso exige-se uma maior preocupação com elas. As peroxidase e polifenoloxidase, são as principais enzimas envolvidas no escurecimento dos produtos de frutas.

A aplicação do calor no processamento de alimentos acontece pelos métodos de pasteurização ou esterilização comercial. A pasteurização ocorre a temperaturas abaixo de 100°C, obtendo inativação parcial dos microrganismos, enquanto que a esterilização utiliza temperatura suficientemente elevada, durante minutos ou segundos com o objetivo de alcançar total inativação microbiológica e enzimática. A pasteurização pode ser conduzida de duas maneiras: pasteurização lenta (62-65°C/30min) e rápida (72-75°C/15-20s), considerando o binômio tempo e temperatura (EVANGELISTA, 2001).

Na indústria de sucos, o envase pode ocorrer a quente (*hot fill*), no qual o suco após pasteurizado a 90°C por 60 segundos é envasado imediatamente na embalagem para esterilizá-la ou por envase asséptico, onde o suco é pasteurizado e após resfriado é colocado assepticamente em embalagens estéreis (DAS; ARORA, 2017).

A principal vantagem do tratamento térmico é o alcance de uma maior vida de prateleira dos produtos, o que gera menor perda e maior lucro para as empresas. Porém essa tecnologia resulta na perda de características sensoriais e nutricionais desses alimentos, como, reações de escurecimento não enzimático (reações de Maillard, que incluem a condensação entre açúcares redutores e aminoácidos), alteração de cor, sedimentação de partículas da polpa, perdas de açúcar, de compostos antioxidantes, pigmentos e de vitamina C, além de

formação de 5-hidroximetil-2-furaldeído (5-HMF), resultante do aquecimento (DAMASCENO *et al.*, 2008).

SANCHO *et al.* (2008) avaliaram as principais alterações físico-químicas durante todas as etapas do processamento do suco de caju com alto teor de polpa, desde a formulação do produto até a pasteurização, e constatou que houveram alterações significativas em alguns parâmetros tais como sólidos solúveis totais, acidez, atividade de água, vitaminas e pigmentos durante todas as etapas do processamento, enquanto que outros parâmetros não sofreram alterações significativas tais como o pH, açúcares redutores, não redutores e totais. Quanto aos parâmetros nutricionais foi concluído que durante a etapa de pasteurização houve maior perda de ácido ascórbico, carotenoides e antocianinas.

COSTA *et al.* (2003) analisaram sucos de caju, os quais primeiramente foram homogeneizados, desarejados e em seguida pasteurizados (90°C por 60 s) pelos métodos *hot fill* (garrafas de vidro) e envase asséptico (embalagem cartonada), e posteriormente armazenados a temperatura ambiente por 12 meses. Foi verificado que o pH, os sólidos solúveis, a acidez total titulável, o teor de açúcar total e a cor (pigmentos hidrossolúveis) não se alteraram significativamente nos dois processos de enchimento e em relação ao tempo inicial e final. Mas houve perda de 25,65 % e 26,74 % de vitamina C para o envase a quente e engarrafamento asséptico, respectivamente. O suco envasado pelo processo asséptico apresentou menor viscosidade que o processo de enchimento a quente (*hot fill*), durante todo o tempo de armazenamento.

DAMASCENO *et al.* (2008) prensou o pedúnculo de caju para obtenção do suco que foi clarificado, engarrafado e posteriormente pasteurizado em 4 temperaturas: 88°C, 100°C, 111°C e 121 °C. Os experimentos a 90 e 100 °C foram realizados em banho maria, e os experimentos a 111 e 121 °C foram realizados em autoclave. As amostras foram colhidas em diferentes tempos do tratamento para análise. Os autores verificaram correlação entre a perda de ácido ascórbico e a formação de 5-HMF (responsável pelo escurecimento) após o tratamento térmico, para todos os processamentos. O escurecimento encontrado não está relacionado com a degradação de açúcar, pois não houve redução desse composto. Com isso, concluíram que a otimização do processo baseado em alto teor de vitamina C deve ser realizado a 120 °C e baixa residência em trocadores de calor de placas ou equipamentos similares. Mas se o equipamento utilizado for um banho de água para a aplicação de calor, o processo deve ser realizado a 90 °C, temperatura na qual a degradação do ácido ascórbico foi menor, mas ainda com formação de 5-HMF.

Outros métodos de conservação também são utilizados na conservação de sucos

de frutas como: baixas temperaturas; adição de compostos químicos; microfiltração. Têm-se utilizado temperatura de refrigeração a 4 °C e congelamento a -16 °C para o armazenamento de suco de caju. Foi verificado que a qualidade do suco refrigerado (pH, vitamina C, sólidos solúveis totais e ácidos totais tituláveis) foi considerada melhor quando comparada ao suco mantido em condições de congelamento. Porém a grande desvantagem desse processo é a intensa utilização de energia e a dificuldade de manter a cadeia do frio desde os pequenos produtores até o consumidor. Já a microfiltração utiliza-se de membranas com poros de diferentes diâmetros, de acordo com os pesos moleculares que se quer reter (por exemplo, células de microrganismos), porém a maior dificuldade desse processo é evitar que moléculas desejadas no filtrado seja retida no filtro, como é o caso de alguns compostos fenólicos (DAS; ARORA, 2017). A adição de compostos químicos como o ácido benzoico, ácido sórbico e o dióxido de enxofre, possui um grande efeito sobre os microrganismos e conseqüentemente prolongam a vida de prateleira do suco, porém podem ser tóxicos e responsáveis pela ocorrência de alergias nos consumidores (DE SOUSA GUEDES *et al.*, 2016).

Portanto, diminuir perdas na qualidade dos sucos, conservar esse alimento sem o uso de conservantes químicos e aplicação de um processamento térmico é o grande desafio para as indústrias, o que motiva novas pesquisas que impulsionem a utilização de novas tecnologias não-térmicas como ultrassom, ozônio e luz pulsada capazes de conservarem as características físico-químicas e nutricionais desses produtos.

2.2 Ultrassom

As ondas ultrassônicas são ondas mecânicas que exigem um meio para se propagarem, e utilizam frequências entre 19 kHz até $1,2 \times 10^{10}$ kHz, imperceptíveis a audição humana. O efeito da aplicação das ondas ultrassônicas varia de acordo com o material em que estão sendo propagadas (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 1996).

Em um líquido, o ultrassom causa o fenômeno da cavitação, onde ocorrem ciclos de compressão e expansão, onde as bolhas de gás expandem-se e se contraem. Quando a pressão negativa criada no líquido pelo ciclo de expansão é baixa, pequenas bolhas são formadas (Figura 1). Essas microbolhas resultantes colapsam e induzem um aumento local de temperatura e pressão causando na maioria das vezes um rompimento nas células e expondo o material intracelular tornando-o mais acessível (JIMÉNEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2017).

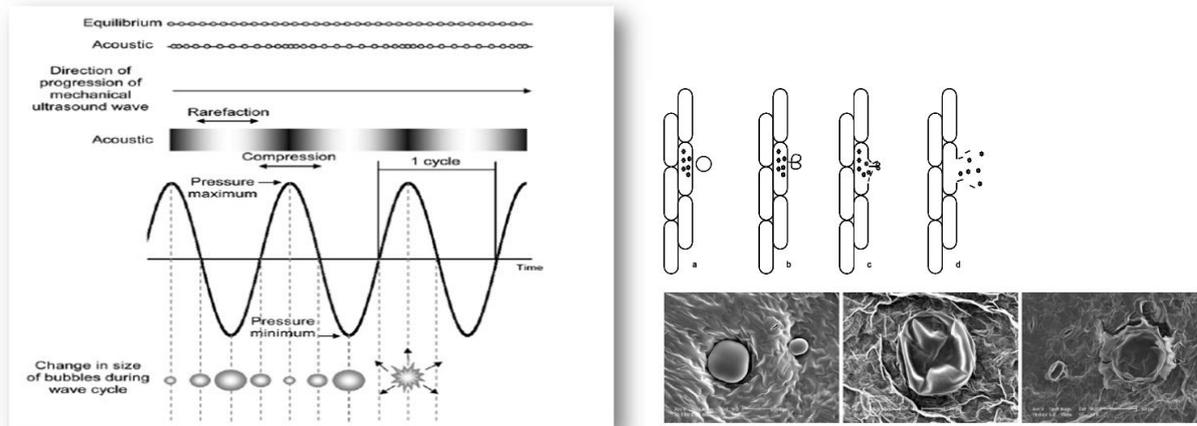


Figura 1 - Fenômeno da Cavitação ultrassônica e exemplo de como a microbolha de cavitação age no tecido celular.

Fonte: SORIA; VILLAMIEL,2010 e CHEMAT, HUMA, KHAN, 2011.

Na indústria de alimentos essas ondas são utilizadas de duas maneiras: ultrassom de baixa intensidade (menor que 1 W/cm^2) em alta frequência (maior que 100 kHz) utilizado em métodos não-destrutivos, e ultrassom de alta intensidade (maior que 1 W/cm^2) em baixa frequência ($20 - 500 \text{ kHz}$) utilizado no processamento de alimentos (BEVILACQUA *et al.*, 2018).

O ultrassom de alta intensidade gera efeitos nos alimentos que podem ser considerados positivos ou negativos. Dois principais efeitos do ultrassom são identificados: os efeitos físicos e químicos. O efeito físico ocorre através do colapso altamente energético das microbolhas e das ondas de choque que causam quebra de cadeias poliméricas e paredes celulares. Os efeitos químicos são mais dominantes nas frequências intermediárias ($200-500 \text{ kHz}$), onde o número de bolhas ativas geradas é maior e conseqüentemente aumenta a produção de radicais hidroxil com a molécula da água, e este radical pode reagir com outras substâncias químicas presentes no meio (PUTNIK *et al.*, 2019; SCHUINA, 2014).

Segundo CAMPOLI *et al.*(2018) o processo ultrassônico (1000W ; 20kHz ; 15W/cm^2) reduziu o teor de licopeno no suco de goiaba, que variou de $29,4 \mu\text{g/g}$ no tempo 0 para $15,2 \mu\text{g/g}$, depois de 9 minutos de processamento, isso ocorreu devido ao rompimento das células e a exposição desse composto a oxidação. Por outro lado, aumentou a acessibilidade *in vitro* desse composto em 20% após esse período de exposição ao ultrassom.

SAEEDUDDIN *et al.* (2015) encontraram um aumento significativo no conteúdo de ácido ascórbico, fenóis totais e flavonoides nas amostras de suco de pêra tratadas com ultrassom (750W; 20kHz; 10 min) a 25°C e uma redução desses compostos a medida que a temperatura aumenta para 65°C. Porém em comparação com a pasteurização convencional, foi constatado uma maior retenção desses nutrientes. A sonicação também aumentou a disponibilidade de carotenóides e fenóis totais no suco de tomate-de-capucho (*Physalis peruviana*) (ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.*, 2017) e teve impacto positivo sobre os compostos bioativos e a atividade antioxidante do blend de cenoura com uva em comparação com o método de preservação química meta-bissulfito de potássio que não gerou nenhum efeito positivo sobre os nutrientes do suco (NADEEM *et al.*, 2018).

O aumento desses compostos pode ser atribuído à ruptura mecânica das paredes celulares como resultado de uma súbita mudança na pressão exercida pelas implosões de bolhas durante a cavitação e assim, é liberada a forma ligada destes compostos no líquido. Já o efeito favorável do ultrassom sobre o ácido ascórbico pode ser explicado pela remoção de oxigênio dissolvido do suco (KNORR, *et al.*, 2004).

O efeito do processamento nas características físicas do suco também foi estudado. SAEEDUDDIN *et al.* (2015) não observaram alterações significativas nos parâmetros Brix, pH e acidez titulável no suco de pêra, após o processamento. Resultado Similar foi encontrado por ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.*, (2017). BELLARY *et al.* (2016) indicaram que a diferença na cor visível pode ser classificada pela diferença total de cor (DTC), classificadas em: muito distintas ($\Delta E > 3$), distintas ($1,5 < \Delta E < 3$) e ligeiramente distintas ($\Delta E < 1,5$). ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.* (2017) detectou que a sonicação alterou significativamente todos os parâmetros de cor, exceto valores de luminosidade no suco de tomate-de-capucho (*Physalis peruviana*), modificando a cor do suco de amarelo para amarelo-vermelho ($DTC > 2$), isso aconteceu devido a isomerização, reações dos carotenóides e presença de radicais livres produzidos durante o tratamento.

CAMPOLI *et al.* (2018) observaram que o tamanho das partículas suspensas no suco de goiaba reduziu, aumentando a interação entre elas e formando assim um sistema colóide estabilizado por 14 dias após o processamento de 9 min, possibilitando a aplicação desse processo para fornecer a estabilidade física do suco e melhorar suas características sensoriais. Isso comprova que as características físicas do suco também são afetadas pelo efeito mecânico da cavitação.

Outro efeito da cavitação sobre os alimentos é o efeito antimicrobiano atribuído à cavitação acústica intracelular que causa um aumento na permeabilidade das membranas

celulares, aquecimento localizado e produção de radicais livres (NADEEM *et al.*, 2018). O efeito letal desse processo é relatado como dependente do tipo de microorganismo, sendo mais eficaz em bactérias gram-positivas (BEVILACQUA *et al.*, 2018). A contagem de *S. cerevisiae* KE 162 em suco de maçã foi reduzida a 1,2 e 2,6 ciclos log após exposição a 10 min ou 30 min de tratamento, respectivamente (FERRARIO;GUERRERO, 2017).

SAEEDUDDIN *et al.* (2015) comparou uma completa inativação de mesófilos e bolores e leveduras na pasteurização a 95°C e na sonicação a 65°C. Uma redução significativa para 43,2%, 37,83% e 40,22% também foi encontrada nas atividades residuais das enzimas POD, PPO e PME no suco de pêra, respectivamente, com a aplicação de ultrassom à 45 °C. Assim, os autores concluíram que o calor e as forças mecânicas no processamento ultrassônico tem um efeito sinérgico sobre a inativação enzimática e a inativação microbiológica foi alcançada em temperatura mais baixa comparada a pasteurização, constatando que o processamento ultrassônico pode ser uma boa alternativa em substituição a pasteurização (95°C), visto que também conservou os compostos sensíveis ao calor.

Por outro lado, FONTELES *et al.* (2012) verificaram que em menor tempo de tratamento ultrassônico (372W/cm²; 2 min), a taxa de liberação de enzimas de dentro das células vegetais é maior do que a destruição, podendo causar aumento da atividade enzimática em sucos de frutas, isso pode ser explicado pelo rompimento das células que proporciona um maior contato da enzima com o substrato.

2.3 Ozônio

O ozônio é um alótropo tri-atômico do oxigênio que possui um alto poder oxidante com capacidade desinfetante dez vezes superior a do cloro. A desinfecção com ozônio destaca-se pelos seguintes aspectos: rapidez da ação de desinfecção; elevada eficiência na inativação de microrganismos e baixa toxicidade encontrada nos efluentes ozonizados por possuir curto período de meia vida (DA SILVA *et al.*, 2011). Na forma gasosa apresenta tempo de meia vida menor que 20 min a 20 °C (NOVAK e YUAN, 2007). As reações de oxidação são causadas pelo ozônio molecular (O₃) dissolvido ou pelas espécies de radicais livres (•OH) formadas durante a decomposição do ozônio. O O₃ pode reagir diretamente com um composto-alvo em solução (reação direta) ou pode se decompor em radicais •OH os quais irão reagir com o composto-alvo (reação indireta) (FONSECA *et al.*, 2017).

O Ozônio pode ser produzido através de dois processos: por uso de radiação ultravioleta (188 nm) - método fotoquímico – e por descarga elétrica (processo Corona). O efeito Corona (Figura 2) é o método de produção mais utilizado comercialmente por ser o mais eficiente. Nesse processo, dois eletrodos submetidos à elevada diferença de potencial de aproximadamente 100 V são separados por uma estreita lacuna, por onde passa ar ou oxigênio puro. Isso causa a dissociação do oxigênio e a consequente formação do ozônio (DA SILVA *et al.*, 2011).

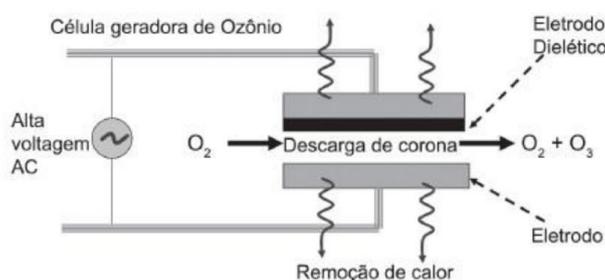


Figura 2 - Produção de ozônio por efeito Corona. Fonte: DEZOTTI, 2008.

A Food and Drug Administration (FDA), dos Estados Unidos, declarou na década de 90 o ozônio como um ingrediente “Geralmente Reconhecido como Seguro” (GRAS) para o uso em processamento de alimentos. Depois disso, em 2001, o ozônio foi aprovado para ser usado como um aditivo em alimentos, o que provocou um grande interesse em estudá-lo como uma tecnologia não térmica capaz de substituir as tecnologias que utilizam o calor. Desde então faz-se necessário estudar os efeitos da ozonização sobre os parâmetros físico-químicos e compostos bioativos em diversas matrizes alimentares (FDA, 2001).

Nas frutas e em seus produtos, como o suco, as enzimas peroxidase e polifenoloxidase são as principais responsáveis pelo escurecimento e deterioração. Essas enzimas estão envolvidas com reações oxidativas e consequentemente com o escurecimento dos produtos e oxidação de nutrientes. O ozônio é uma molécula hiper-reativa que pode contribuir para a inibição de várias enzimas devido seu potencial oxidante. OLIVEIRA *et al.* (2018) verificaram após ozonização em suco de açaí uma redução significativa da atividade peroxidásica em relação ao suco controle. Este fato foi explicado por JARAMILLO SÁNCHEZ *et al.* (2018) como resultado da oxidação de proteínas envolvendo modificações covalentes em uma reação direta com o gás, ou por reações com os derivados da decomposição. Já para a polifenoloxidase o ozônio não foi eficiente na inativação significativa dessa enzima.

CHOI *et al.* (2012) verificaram que o gás ozônio é eficiente contra os microrganismos patogênicos *E. coli O157: H7*, *S. typhimurium* e *L. monocytogenes* no suco de maçã, sem diferença significativa entre as taxas de mortalidade. Foi observado também que o efeito foi significativamente influenciado pelo conteúdo de sólidos em um suco de 72° Brix, onde o ozônio não foi eficaz. A eficácia dessa tecnologia contra microrganismos depende da quantidade dos sólidos presentes, da concentração aplicada, do ozônio residual no ambiente, de vários fatores ambientais, como pH e temperatura, quantidade de matéria orgânica que envolve as células, compostos antioxidantes e outros.

Segundo FUNDO *et al.* (2018), o conteúdo total de fenólicos no suco de melão *Cantaloupe* aumentou significativamente após a exposição ao ozônio ($7,0 \pm 2.4$ g/L). O total de fenólicos no suco de melão fresco foi de 164,70 µg/ mL, aumentando para 198,63 µg/mL e 266,71 µg/mL nos sucos ozonizados por 30 e 60 min, respectivamente. Porém, OLIVEIRA *et al.* (2018) verificaram que a ozonização (1,5 ppm/ 5 ou 10 min) diminuiu significativamente ($p < 0,05$) os compostos fenólicos do suco de açaí, esse efeito pode ser explicado pelas diversas reações químicas diretas (diretamente no composto alvo) ou indiretas (através dos radicais intermediários ou hidroxilas) que ocorrem durante o processo.

A vitamina C é encontrada de duas maneiras nos sucos de frutas, como ácido ascórbico (AA) e sua forma oxidada, ácido dehidroascórbico (ADH). Os tratamentos com ozônio afetaram significativamente o conteúdo total de vitamina C no suco de melão pois reduziu a concentração do ADH. Esse fato pode ser explicado pela maior oxidação do ADH que se converte em ácido 2,3-dicetogulônico (DKA) desprovido de atividade biológica (FUNDO *et al.*, 2018).

FUNDO *et al.* (2018) observaram após um tempo de exposição ao ozônio (7,0 g/L) de 30 minutos que os carotenóides totais do suco de melão foram reduzidos em 76%, enquanto que durante 60 minutos foi observado um decaimento de 83%. Segundo ALI *et al.* (2014), a redução de β-caroteno em frutos submetidos a alta concentração e exposição ao ozônio pode ser causada por clivagem oxidativa de carotenóides que levam à produção de ácido abscísico.

OLIVEIRA *et al.* (2018) aplicaram a ozonização (1,5 ppm/ 5 ou 10 min.) em suco de açaí e verificaram que diminuiu significativamente a atividade antioxidante após o processamento, obtendo um maior decréscimo quando comparado ao processamento ultrassônico. A concentração do ozônio foi um parâmetro que influenciou significativamente a capacidade antioxidante. Também foi encontrada redução significativa ($p < 0,05$) de valores de nuvem em suco de açaí. Os valores de nuvem estão relacionados com a sedimentação de

partículas finas (o que os consumidores associam à deterioração do produto) como pectina, celulose e proteínas. Valores baixos significam maior sedimentação do suco e conseqüentemente menor homogeneização (FONTELES *et al.*, 2012).

Desse modo observou-se na literatura que o ozônio é eficiente sobre a inativação microbiológica, porém pode causar efeitos negativos nos compostos bioativos do sucos de frutas. Necessitando de mais estudos para sua potencial aplicação nesses produtos.

2.4 Luz Pulsada

Luz pulsada (LP) é a denominação dada a pulsos intensos e curtos (100 e 400 ms) de luz de amplo espectro. O espectro de luz pulsada inclui um comprimento de onda que varia de ultravioleta próximo à região do infravermelho entre 100 e 1100 nm, com 54% de energia emitida no intervalo UV. Para emitir luz pulsada são utilizadas lâmpadas de xenônio, que são fontes comerciais ecologicamente corretas, pois não usam mercúrio em sua composição. A luz UV pulsada oferece vantagens em relação à luz UV contínua porque é rica em luz germicida UV-C, inclui faixa UV-B (faixa de 200 a 400 nm), utiliza intensidades mais altas e tempos de tratamentos mais curtos. A intensidade da luz pulsada é 20.000 vezes maior que a intensidade da luz UV (GÓMEZ-LÓPEZ *et al.*, 2007; KOUTCHMA, 2018).

Os efeitos dessa tecnologia sobre diversas matrizes alimentares têm sido estudados devido seu potencial antimicrobiano, o qual pode ser explicado por um mecanismo fototérmico e/ou um mecanismo fotoquímico. É possível que ambos aconteçam sinergicamente e a importância relativa de cada um depende do meio e do microorganismo alvo (GÓMEZ-LÓPEZ *et al.*, 2007).

O efeito fotoquímico da luz pulsada pode ser explicado pelo mecanismo do UV-C contínuo. Em bactérias, a luz UV-C induz a formação de dímeros de pirimidinas que inibem a formação de um novo DNA no processo de replicação das células, impossibilitando que o microorganismo se reproduza. O efeito fototérmico aquece a camada superficial do alimento de forma que o calor produzido na superfície será conduzido para o interior do produto. No entanto, são necessários pulsos com altas doses para que esse efeito ocorra (SOUZA, 2014).

FERRARIO; GUERRERO (2017) observaram a inativação de *S. cerevisiae* KE 162 no suco de maçã com aplicação de uma dose de 71,6 J/cm² de energia total em 60 seg (1,27 J/cm² × pulso), variando entre reduções de 1,0 e 2,0 log, no suco prensado, enquanto que no suco clarificado foi observado redução de 3,9 log. HWANG *et al.* (2015) também obtiveram redução de 1,9 e 7 log de *Pseudomonas aeruginosa* em sucos de uva e ameixa,

respectivamente. Os autores verificaram que o acúmulo de calor gerado melhorou a eficácia da inativação por luz pulsada apoiando a hipótese fototérmica como um dos possíveis mecanismos de inativação produzido por essa tecnologia (GÓMEZ-LÓPEZ *et al.*, 2007). Uma maior inativação foi obtida no suco clarificado em comparação com o prensado, devido à sua menor turbidez e partículas suspensas (FERRARIO; GUERRERO, 2017).

HWANG *et al.* (2015) ao aplicar a luz pulsada (0,97 a 29,21 J/cm²) em várias bebidas comerciais verificaram que o alto valor de transmitância e o baixo valor do coeficiente de extinção (absorbância) da amostra têm um efeito decisivo na inativação microbiana, pois permite que a intensidade da luz pulsada penetre sem obstáculos na amostra. PATARO *et al.* (2011) encontraram similar resultado ao estudarem a aplicação dessa tecnologia em suco de maçã e de laranja. Desse modo os líquidos mais transparentes e translúcidos apresentaram um alto nível de redução microbiana após o tratamento em um curto espaço de tempo. FERRARIO; GUERRERO (2017) também concluiu que para alcançar alta redução microbiana em líquidos com baixo valor de transmitância, é necessária uma alta dose de energia luminosa por um longo tempo de processamento, pois a turbidez do meio e as partículas suspensas inibem a penetração da luz pulsada.

Com a necessidade de uma maior compreensão acerca dos efeitos dessa tecnologia em microrganismos, FERRARIO & GUERRERO (2017) analisaram o suco de maçã fermentado por *S. cerevisiae* KE 162 (pós-tratamento) através de citometria de fluxo, técnica que explora mudanças no estado fisiológico dos microrganismos para observar melhor a membrana da levedura e observaram a permeabilização completa da membrana e perda de viabilidade. A amostra também foi analisada por microscopia eletrônica de transmissão onde foram reveladas outras mudanças estruturais como a forma celular alterada, vacuolização, coagulação do conteúdo interno e perda da parede celular que, juntamente com a permeabilização da membrana, seriam envolvidos no processo de inativação.

KWAW *et al.* (2018) verificaram o efeito da luz pulsada no suco de amora fermentado. Os resultados demonstram que a concentração de compostos fenólicos das amostras aumentou significativamente, o que conseqüentemente aumentou a capacidade antioxidante do suco. Foi detectada uma correlação positiva significativa entre compostos fenólicos e DPPH • -SA e entre flavonoides e antocianinas e ABTS • + -SA. Estudos também mostraram que a concentração de vitamina D2 em cogumelos pode ser aumentada em até 467% pela aplicação de luz pulsada pós colheita. Por outro lado, o conteúdo fenólico total e a atividade antioxidante na sidra de maçã não foram significativamente afetados pela LP com alterações inferiores a 5% (KOUTCHMA, 2018).

ORLOWSKA *et al.* (2013) estudaram três tipos de lâmpadas UV, HIP-1 (8 Hz, 31 J/pulso), HIP-2 (0,75 Hz, 344 J/pulso) e HIP-3 (0,5 Hz, 644 J/pulso) em suco de maçã. A lâmpada HIP-2 (0,75 Hz, 344 J/pulso) causou a fotólise da vitamina C. Já as HIP-1 (8 Hz, 31 J/pulso) e HIP-3 (0,5 Hz, 644 J/pulso) não afetaram significativamente o conteúdo de vitamina C ($p > 0,05$), concluindo que os efeitos distintos das fontes de UV no conteúdo desse composto podem estar relacionados às propriedades absorptivas do suco tratado e às características de emissão de lâmpadas usadas. Pode-se verificar que a energia transportada pelo pulso de luz e sua taxa de frequência podem ser parâmetros importantes que afetam a qualidade do suco.

Os tratamentos com as lâmpadas UV também podem afetar de forma positiva a aparência dos sucos. ORLOWSKA *et al.* (2013) constataram que a luminosidade do suco de maçã (L^*) permaneceu inalterada após o processamento com todas as lâmpadas UV testadas. A diferença total de cores (ΔE) indica que apenas uma alteração ligeiramente perceptível ($0,5 < \Delta E^* < 1,5$) ocorreu. O efeito da irradiação UV sobre os atributos de cor dos sucos de frutas pode ser considerado positivo uma vez que são retardados os processos de escurecimento.

Atualmente, não há dados suficientes que expliquem os efeitos da tecnologia luz pulsada sobre os compostos bioativos dos alimentos. Isso ocorre, principalmente, devido a falta de informações e incertezas a respeito da absorção óptica e da dispersão característica dos principais componentes alimentares e suas interações com os fótons de luz. Contudo, um terceiro mecanismo da luz pulsada, chamado fotofísico, que relata a constante perturbação causada pelos pulsos de alta energia, têm sido explorado por pesquisadores para explicar a inativação microbológica. Essas perturbações geram danos estruturais nas células e inativam microrganismos. Esses danos consistem em vazamento celular, ausência de parede celular, encolhimento de membrana citoplasmática e colapso de estruturas internas. Desse modo, os efeitos fotofísicos (perturbações de alta energia) podem estar relacionados com os resultados da luz pulsada sobre os compostos bioativos nas matrizes alimentares, necessitando assim de maiores estudos para melhor explicá-los (KOUTCHMA, 2018).

2.5 Caju

O caju (*Anacardium occidentale L.*) é um fruto tropical, fonte de vitamina C, compostos fenólicos, carotenóides e fibras insolúveis, nativo da América Latina, onde é amplamente cultivado e comercializado, principalmente no Brasil, na região nordeste (DE

ABREU *et al.*, 2013). A respeito da produção de caju, dados do IBGE de 2018 informam que a área plantada no Brasil é de 473.879 mil hectares, onde 471.294 mil hectares correspondem ao nordeste (IBGE, 2018), possuindo assim grande importância econômica na região.

O principal produto do caju é a castanha-de-caju, de onde é aproveitado a amêndoa, a película que a envolve (rica em tanino e utilizada na indústria química de tintas e vernizes), e a casca da castanha (de onde se extrai o líquido da casca de castanha-de-caju, o LCC), usado na indústria química e de lubrificantes. Já o pedúnculo do caju é comercializado *in natura* e processado por indústrias ou minifábricas para a obtenção do suco ou da polpa congelada, de cajuínas e doces, além de seus subprodutos serem aproveitados na alimentação animal. Cerca de 10 a 15 toneladas de pedúnculos de caju são obtidos como subprodutos para cada tonelada de castanha produzida (AUGUSTO *et al.*, 2017; DAS; ARORA, 2017).

O Brasil ocupava o posto de terceiro maior produtor mundial de castanha-de-caju, no ano 2000, ficando atrás da Índia (440 mil toneladas) e Nigéria (176 mil toneladas). Segundo os dados da FAO (2014), nas safras de 2011 e 2012, as produções mundiais de castanha-de-caju foram de 4,40 milhões e 4,15 milhões de toneladas, respectivamente. O Brasil com sua produção cíclica, foi o quinto maior produtor em 2011 e o décimo maior em 2012, perdendo seu terceiro lugar para a Índia (16% da produção) que ficou atrás da Nigéria (20%) e do Vietnã (28,7%), os quais se consolidaram como os maiores produtores mundiais (AUGUSTO *et al.*, 2017).

A nível nacional, 50% do total produzido de castanha-de-caju no Brasil se concentra no estado do Ceará, seguido pelos estados do Rio Grande do Norte ($\approx 22\%$) e Piauí ($\approx 18\%$) (AUGUSTO *et al.*, 2017).

Os Estados Unidos, os Países Baixos e o Canadá são os maiores importadores da castanha de caju produzida no Brasil. O Estado do Ceará é o maior exportador rendendo US\$ 182 milhões, US\$ 176 milhões, US\$ 149 milhões e US\$ 110 milhões, em 2010, 2011, 2012 e 2013, respectivamente, passando de primeiro para o terceiro produto da pauta de exportações (AUGUSTO *et al.*, 2017).

Na cadeia produtiva do caju, estima-se a geração anual de cerca de 250 mil empregos diretos e indiretos no beneficiamento de 300 mil toneladas de castanhas e em fábricas processadoras do pedúnculo do caju. Porém, apesar de toda a tecnologia disponível, 75% dos pedúnculos do caju não são aproveitados e apenas 350 mil toneladas são aproveitados por pequenas empresas que produzem suco de caju, cajuína e doces. Desse modo, o aproveitamento do pedúnculo do caju tem sido visto como a resolução para o desperdício e a falta de investimentos nos pomares, assim como pesquisa em novas formas de

processamento do pedúnculo do caju e seus produtos, é uma alternativa promissora para a produção de sucos tropicais prontos para beber e com isso novas oportunidades surgem para as indústrias de suco e a criação de emprego cresce (AUGUSTO *et al.*, 2017).

2.6 Suco de Caju

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) define Suco de frutas como, uma bebida não fermentada, não concentrada, e não diluída, destinada ao consumo, obtida da fruta madura e sã, ou parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, submetida a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo (BRASIL, 2000). A partir dessa definição surgiram novas formulações de bebidas de frutas como néctar, refresco, suco concentrado e desidratado, suco integral, e suco tropical, que diferem em sua composição e são reconhecidas legalmente no Brasil.

A decisão do consumidor por uma alimentação saudável tem crescido a cada dia e as frutas e seus produtos, como o suco, são uma das principais fontes de vitaminas, minerais, compostos antioxidantes e carboidratos solúveis procurados por eles. Com o crescimento e diversificação do mercado a fruticultura aumenta sua produção a fim de atender a demanda dos consumidores. Com isso novas formas de processamento de frutas são incentivadas para agregar valor aos produtos oferecidos e novas oportunidades surgem para as indústrias de sucos de frutas.

Os sucos de frutas estão dentre os produtos com as maiores médias de consumo diário per capita no país, com 145 g/dia (IBGE, 2011). Em 2017, o volume de produção do mercado brasileiro de néctar e sucos prontos para beber foi de 1.101.985 litros, com 5,31 litros/habitante anualmente, tendo um aumento positivo no consumo per capita de 4,1% em relação ao ano de 2016. Esse é um dado positivo comparado a queda de consumo de refrigerantes que caiu 11,68% em relação ao ano de 2016. Isso indica que a população tem se preocupado mais com a saúde e bebido mais suco (ABIR, 2017).

No pedúnculo do caju cerca de 65 a 80% da polpa é transformada em suco, dependendo da maturidade, variedade e processo de extração (DAS; ARORA, 2017). Portanto, investir em novas tecnologias para o melhor aproveitamento do pedúnculo do caju e maior agregação de valor ao produto é de grande importância econômica para o mercado interno e externo, podendo assim, gerar novas oportunidades de emprego, além de atender as exigências dos consumidores.

MOO-HUCHIN *et al.* (2014) analisou o suco do pedúnculo de caju não diluído e encontraram: 92,06 mg/100g de Vitamina C; 1,17 mg/100g de antocianinas totais; 186,29 mg de EAG/100g de compostos fenólicos; 59,27 mg em quercetina/100g de flavonoides; 13,99 mg de β -caroteno/100g de carotenoides totais. Quanto a atividade antioxidante os resultados encontrados foram 642,06 μ mol/100g pelo método ABTS^{•+} e 345,15 μ mol/100g pelo método DPPH[•].

RUFINO *et al.* (2010) também processaram o pedúnculo do caju para a obtenção da polpa e após análise observaram os seguintes resultados: 190 mg/100g de Vitamina C; 9,5 mg/100g de antocianinas totais; 63,8 mg/100g de flavonoides amarelos; 0,4 mg/100g de carotenoides totais; 118 mg de EAG /100g de compostos fenólicos; atividade antioxidante segundo os métodos ABTS^{•+}, DPPH[•] EC₅₀ e FRAP, 11,2 μ mol de trolox/g, 7142 g/g DPPH[•] e 22,9 μ mol de Fe₂SO₄/g, respectivamente.

Pode-se perceber diferenças nas caracterizações das polpas dos pedúnculos de caju, mas isto é justificado pelo fato dos frutos serem influenciados pelo clima, tipo de solo, condições de cultivo, tempo de colheita, incidência da luz, entre outros aspectos.

DA SILVA *et al.* (2014) estudaram os compostos bioativos da polpa e os subprodutos de sua produção (casca e sobras de polpa) afim de saber a concentração dos compostos bioativos em cada parte do pedúnculo do caju. Verificaram na polpa as seguintes concentrações: 7,62 mg/100g de antocianinas totais; 0,45 mg de β -caroteno/100g; 5286,49 mg de EAG/100g de compostos fenólicos, enquanto que nos subprodutos encontraram o dobro de antocianinas (14,74 mg/100g) e flavonoides amarelos (44,91 mg/100g), que não foram detectados na polpa, concluindo que a maior parte dos flavonoides amarelos estão na casca do pedúnculo do caju. Além disso, encontraram 0,18 mg de β -caroteno/100g e 6588,41 mg de EAG/100g de compostos fenólicos.

MOO-HUCHIN *et al.* (2015) estudaram a diferença entre o caju amarelo e o caju vermelho, analisando suas cascas e observaram os seguintes resultados, respectivamente: 172,6 e 1583,3 mg/100g de vitamina C; 1,83 e 9,29 mg/100g de antocianinas totais; 633,2 e 1316,8 mg de EAG/100g de fenólicos totais; 628,1 e 833,7 mg de quercetina/100g de flavonoides; 172,3 e 256,9 mg de β -caroteno/100g; e atividade antioxidante mensurada por ABTS^{•+} e DPPH[•] 3322,3 e 3050,9 μ mol equivalente de trolox/100g; 1579,0 e 1593,6 μ mol equivalente de trolox/ 100g. Concluindo que o caju vermelho detêm de maiores quantidades de compostos bioativos em comparação ao caju amarelo.

Como visto acima, o pedúnculo do caju é rico em micronutrientes, considerado fonte de antioxidantes como, flavonoides amarelos (59,27 mg de quercetina/100g) e vitamina

C (92,06 mg/100g), possuindo cerca de três a seis vezes mais vitamina C que suco de laranja, além de vitaminas do Complexo B e Ferro, o que faz da exploração desse fruto entre outras espécies de frutos tropicais uma alternativa promissora para produção de sucos tropicais prontos para beber (DAS; ARORA, 2017; MOO-HUCHIN *et al.*, 2014).

2.7 Compostos bioativos

Os compostos bioativos são encontrados em frutas, vegetais, cereais, leguminosas, raízes e outras fontes vegetais. Dentre esses, as frutas estão entre os mais consumidos. Desse modo, o consumo de frutas e seus produtos atualmente não é apenas um resultado da preferência do consumidor pelo melhor sabor, mas é uma preocupação com a saúde devido a grande quantidade de minerais, vitaminas, fibras e compostos fitoquímicos secundários (antioxidantes naturais, por exemplo) na sua composição (DA SILVA *et al.*, 2014).

O metabolismo humano produz espécies reativas de oxigênio (ERO) oriundas de muitos sistemas enzimáticos através do consumo de oxigênio. Os radicais ânion superóxido, radicais hidroxila e os peróxidos de hidrogênio, são os principais dessas espécies e em pequenas quantidades são utilizados como transdutores de sinais e reguladores de crescimento. Porém, durante o estresse oxidativo, as grandes quantidades desses ERO podem causar doenças como câncer, doenças degenerativas e ocasionar o envelhecimento precoce. Desse modo, para equilibrar as ERO, é necessário a ingestão de antioxidantes não produzidos pelo corpo humano para manter um nível adequado dessas espécies (MOO-HUCHIN *et al.*, 2015).

Pesquisas comprovam que dietas ricas em compostos fitoquímicos (antioxidantes naturais), como compostos fenólicos e carotenóides, reduzem o risco de doenças como câncer, úlceras estomacais, inflamação, doenças cardiovasculares, metabólicas, coronárias, degenerativas e infecções do trato urinário (DA SILVA *et al.*, 2014; SHISHIR *et al.*, 2018). Além de suas funções biológicas, os antioxidantes são utilizados nas indústrias de cosméticos, farmacêutica, e alimentícia, já que também podem ser usados como substitutos de antioxidantes sintéticos (MOO-HUCHIN *et al.*, 2015).

Os polifenóis (compostos fenólicos) são os fitoquímicos com ação antioxidante que mais se destacam nos vegetais. Constituem um amplo e complexo grupo de fitoquímicos, divididos em flavonoides e não-flavonoides. Os denominados flavonoides são os que apresentam estrutura química descrita como C6-C3-C6. Já os denominados não-flavonoides possuem estrutura química C6-C1(ácido gálico), C6-C3(ácido caféico) ou C6-C2-C6

(resveratrol) (COSTA; JORGE, 2011).

Os compostos fenólicos possuem anel aromático contendo um ou mais grupos hidroxila, incluindo seus grupos funcionais tais como ésteres, ésteres metílicos e glicosídeos. Existem cerca de 5.000 polifenóis, dentre eles, destacam-se os flavonoides, os ácidos fenólicos, cumarinas e taninos. Sua capacidade antioxidante está na atividade de sequestrar radicais livres, doar átomos de hidrogênios ou elétrons ou quelar cátions de metais, cuja intensidade da ação depende do número e posição de hidroxilas presentes nas moléculas (COSTA; JORGE, 2011).

Os flavonoides são localizados principalmente nas folhas, nas flores e nas frutas, em suas partes externas, pele ou casca. A sua concentração é dependente do grau de incidência de luz, quanto maior a exposição à luz maior a formação de flavonoides no meio (HOFFMANN-RIBANNI *et al.*, 2009).

Esses compostos são divididos em subclasses, que podem ser divididas por grupos de colorações específicas: flavonas, flavonóis, flavanonas (coloração amarela); isoflavonoides e flavanas (incolores); antocianinas (vermelho e violeta) (FONSECA *et al.*, 2016). A quercetina é um flavonol (coloração amarela) que possui maior poder sequestrador de espécies reativas de oxigênio. DE BRITO *et al.* (2007) detectou 13 tipos de flavonoides em pedúnculo de caju, quantificando 0,28 mg/g de flavonoides glicosilados totais, onde 6 eram do tipo quercetina (0,11 mg/g) e 6 miricetina (0,15 mg/g). HOFFMANN-RIBANNI *et al.* (2009) encontrou uma menor quantidade de miricetina no caju fresco (0,02 mg/g) ressaltando que as diferentes formas de cultivo influenciam no conteúdo de compostos bioativos das frutas. Não existe uma recomendação para ingestão diária de flavonoides, mas estima-se que o valor médio diário de ingestão seja de 79 mg para mulheres e 28 mg para homens (FONSECA *et al.*, 2016).

A vitamina C (ácido L-ascórbico) também é um antioxidante natural, que possui sabor ácido e é solúvel em água e insolúvel em solventes orgânicos. Uma vez dissolvida, fica muito sensível ao oxigênio e é facilmente oxidada pelo calor e em meio alcalino. Não é sintetizada pelo organismo humano, por isso é indispensável a sua ingestão. Entre as principais funções da vitamina C está a potencialização do sistema imune com o aumento da produção de linfócitos, sua alta concentração no sistema inibidor da hialuronidase evita a metástase de tumores carcinogênicos, é um excelente redutor, pois facilmente perde átomos de H, transformando-se em ácido dehidroascórbico (com a mesma atividade do ácido ascórbico) e se comporta como o maior captador de elementos oxidantes na fase aquosa do organismo. Além de sequestrar hidrogênio singlete e quelante de metais (VALDÉS, 2006).

De acordo com a legislação brasileira e a Food and Agriculture Organization, a ingestão diária recomendada (IDR) para o ácido ascórbico em um adulto é de 60 e 45 mg, respectivamente. Entre as principais frutas fontes de Vitamina C estão a acerola, laranja, limão, manga, goiaba e o pedúnculo do cajueiro (SCHERER; RYBKA; GODOY, 2008).

2.8 Enzimas

Mudanças nas condições ambientais (injúrias mecânicas, umidade, variações de temperatura) podem causar danos oxidativos nas células vegetais dos frutos e, conseqüentemente, em seus derivados. Esses danos são geralmente observados durante a extração de suco de frutas (RABELO, 2012).

O desequilíbrio entre a capacidade oxidativa e antioxidativa nas células vegetais gera o estresse oxidativo (ARORA *et al.*, 2002). Nessas células a ação antioxidativa acontece por antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos que atuam na eliminação de espécies reativas de oxigênio (EROs). Os principais antioxidantes enzimáticos são as enzimas: dismutase do superóxido, peroxidase, polifenoloxidase e catalase (RABELO, 2012).

As peroxidases são enzimas antioxidantes que regulam os níveis internos de peróxido de hidrogênio, reduzindo estes através da catalise de reações de compostos antioxidantes como, os compostos fenólicos e ácido ascórbico (agentes redutores). As peroxidases são encontradas na forma de várias isoenzimas, variando no tipo de substrato doador de elétrons utilizado, estabilidade térmica e peso molecular (RABELO, 2012).

As polifenoloxidases são enzimas capazes de catalisar dois diferentes tipos de reações: a hidroxilação de monofenóis a o-difenóis e a de hidrogenação de o-difenóis a o-quinonas. As quinonas produzidas conduzem subseqüentemente a uma série de reações não enzimáticas que produzem pigmentos e melanina de cor marrom escura, o que causa escurecimento no suco (YORUK; MARSHALL, 2003).

A dismutase de superóxido catalisa a dismutação do radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$) a peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e em desequilíbrio podem induzir disfunções e morte celular. Já a Catalase converte o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água (H_2O) e oxigênio molecular (O_2), ou seja, funciona como um canal de limpeza do H_2O_2 celular. Essas enzimas exercem funções de defesa nas células vegetais, mas causam conseqüentemente sabor e cor indesejáveis nos frutos e em seus subprodutos como, os sucos (RABELO, 2012).

QUEIROZ *et al.* (2011) encontraram polifenoloxidase (0.62 UAE.min⁻¹.mg de proteína) em polpa de caju, mas RABELO (2012) não detectou atividade dessa enzima em

suco de caju prensado, encontrando atividade da peroxidase ($0,02 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}$ proteína), da dismutase de superóxido ($7,14 \text{ UA} \cdot \text{mg proteína}^{-1}$) e da catalase ($74 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}$ proteína).

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da aplicação do ultrassom, do ozônio e da luz pulsada sobre as características nutricionais e de qualidade do suco de caju e compará-los ao suco processado por tratamento térmico.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar a atividade antioxidante das amostras de suco de caju pós-tratamentos;
- Avaliar os efeitos causados pelas tecnologias estudadas sobre os constituintes bioativos do suco de caju (flavonoides e Vitamina C);
- Verificar a eficiência do processamento na inativação das enzimas peroxidase e polifenoloxidase;
- Avaliar os parâmetros de Cor do suco de caju pós-tratamentos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparo do suco

O suco foi preparado a partir da polpa de caju congelada e não pasteurizada (Ki polpa ®), sem adição de conservantes, sem açúcar (2,7 ° Brix) na proporção 1:2 (100g de polpa: 200 mL de água).

4.2 Processamentos

4.2.1 Ultrassom

O suco de caju foi processado em um desruptor ultrassônico de 500W, Unique® modelo DES500 (Figura 3) com frequência constante de 19kHz e macro ponta de titânio com diâmetro de 13 mm. Amostras de 150 mL do suco foram processadas em reator de vidro encamisado de 250 mL com controle de temperatura. A macro ponta de titânio foi submersa no suco em uma profundidade de 1,5 cm. Foram utilizados como controle dos experimentos, amostras de suco não-processado *in natura*.



Figura 3 - Desruptor ultrassônico de macro ponta de titânio
Fonte: Laboratório de Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará.

4.2.1.1 Cálculo de intensidade de energia ultrassônica

Calculou-se a intensidade de energia ultrassônica dissipada pela ponta de titânio através da Equação 1 (LI, PORDESIMO, WEISS, 2004).

$$I = P / \pi * r^2 \quad (1)$$

Onde P (Watt) é a potência aplicada, r é o raio (cm) da macro ponta de titânio. No presente estudo os níveis de potência aplicada foram ajustados para 20% e 99% da potência total (500 W) que equivale a 100 e 495 W, respectivamente. As intensidades ultrassônicas correspondentes foram 75,34 e 372,93 W/cm², respectivamente.

4.2.1.2 Planejamento Experimental

Foi realizado um planejamento fatorial (2³), observado na tabela 1, variando-se a intensidade de potência na faixa de 75,34 a 372,93 W/cm², tempo de processamento de 2 a 10 minutos e temperatura de 20 a 40 °C. As análises foram realizadas em triplicata (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2002).

Tabela 1 – Planejamento experimental fatorial (2³) aplicado ao processamento ultrassônico.

Processamento	Intensidade (W/cm ²)	Tempo (Min.)	Temperatura (°C)
US 1	75,34	2	20
US 2	75,34	2	40
US 3	75,34	10	20
US 4	75,34	10	40
US 5	372,93	2	20
US 6	372,93	2	40
US 7	372,93	10	20
US 8	372,93	10	40

4.2.2 Ozônio

O suco de caju foi submetido ao ozônio produzido através de descarga Corona no gerador de ozônio (OZONE & LIFE ®; modelo O&L3 ORM; frequência 60 Hz). O oxigênio puro foi fornecido por meio de um cilindro de oxigênio e a vazão foi controlada usando um regulador de fluxo de gás. O tratamento das amostras foi realizado na posição 1 do dosador, vazão 0,125 L/ min usando a carga de ozônio de 0,037 mg O₃/mL.min. Variou-se o tempo de exposição ao ozônio de 2, 4 e 6 minutos, gerando as respectivas concentrações 0,08 mg O₃/mL, 0,16 mg O₃/mL, 0,24 mg O₃/mL. Essas cargas de ozônio foram baseadas na carga mínima aplicada (0,075 mg O₃/mL) para 5 log UFC/mL de inativação de *E. coli* em suco de laranja (PATIL, BOURKE, *et al.*, 2009). Valores superiores foram aplicados considerando a existência de microrganismos mais resistentes. Os tratamentos foram realizados em duplicata e as análises foram realizadas em triplicata.

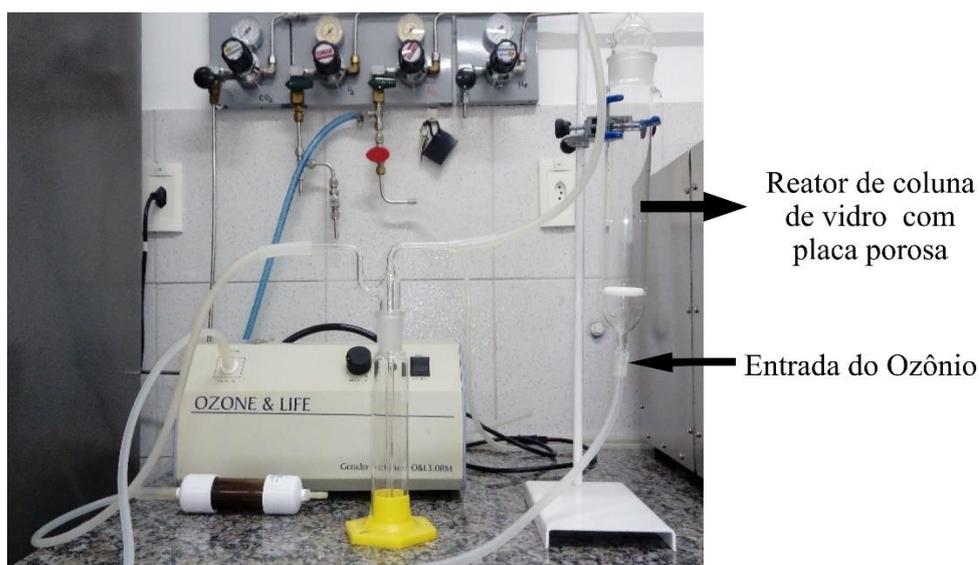


Figura 4 - Gerador de ozônio

Fonte: Laboratório de Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará.

4.2.3 Luz Pulsada

O suco de caju foi submetido à luz pulsada no equipamento da SteriBeam Systems ®, Modelo: Intense Pulsed UV R&D System XeMaticA-2L-AS (Figura 4). Foram utilizadas placas de petri de Polipropileno descartáveis 90 x 15 mm (OLEN ®, China) e estéreis contendo 15 mL de amostra. Os tratamentos variaram a intensidade em 2 V (0,075 J/cm²), 6 V (0,700J/cm²) e 10 V (1 J/cm²) os quais foram realizados em duplicata e as análises em

triplicata.



Figura 5 – Emissor de Luz pulsada

Fonte: Laboratório de Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará.

4.2.4 Processamento Térmico

Amostras do suco (150 mL) foram colocadas em bécker (250 mL) e submetidas ao tratamento térmico em banho-maria, sem agitação (SOLAB[®]) ajustado a 90°C por 1 min, com controle de temperatura através de termômetro.

4.3 Análise Estatística

O planejamento experimental fatorial (2³) realizado no processamento ultrassônico foi avaliado com o auxílio do software Statistica v. 10 (Statsoft), em que a análise de variância (ANOVA) e o Teste de Fisher determinaram a significância do modelo matemático com intervalo de confiança de 95%. Quando o modelo matemático não foi significativo, os resultados foram analisados pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Os resultados foram expressos em média \pm desvio padrão. As respostas das análises dos processamentos de ozonização e de luz pulsada, que não foram submetidos a planejamento experimental, foram analisados apenas por teste de Tukey.

4.4 Métodos Analíticos

4.4.1 Determinação da Atividade Antioxidante Total

4.4.1.1 *Extração*

A extração dos compostos antioxidantes foi realizada de acordo com (LARRAURI; RUPÉREZ; SAURA-CALIXTO, 1997) adaptado. Onde 500 μ L de amostra foi homogeneizado com 1 mL de etanol 50% (v/v) e a mistura foi deixada em repouso por 1 hora. Após esse período, a amostra foi centrifugada a 25155 x g por 15 min., 6 °C na centrífuga 6k15 (SIGMA Laboratory Centrifuges ®). O sobrenadante foi coletado e o precipitado foi resuspenso em 1mL de Acetona 70%, homogeneizado, deixado em repouso por 1 hora e foi centrifugado novamente. Em seguida juntou-se os dois sobrenadantes e o extrato resultante foi utilizado para determinação da atividade antioxidante total pelos métodos ABTS e DPPH.

4.4.1.2 *Método ABTS^{•+}*

A análise da atividade antioxidante total pelo método ABTS foi baseada na captura do radical 3-etilbenzotiazolina-6-ácidosulfônico (ABTS^{•+}) pelos antioxidantes presentes no suco de caju. O radical ABTS^{•+} foi preparado pela reação de 5 mL da solução ABTS (7 mM, em água destilada) com 88 μ L de persulfato de potássio (140 mM, em água destilada). O radical foi armazenado em frasco âmbar e deixado em repouso por 16 horas antes da realização do experimento. O radical foi então diluído em álcool etílico a uma absorbância de $0,7 \pm 0,02$ a 734 nm. O experimento foi conduzido em tubos de ensaio, onde ocorreu a reação entre 15 μ L de amostra (diluída 1:5 pela extração) com 1500 μ L do radical ABTS^{•+}. Após 6 minutos, realizou-se a leitura em espectrofotômetro Evolution 220 (THERMO scientific ®). O álcool etílico foi utilizado como o branco. Uma curva de calibração foi construída com o Trolox (100 - 2000 μ M) e o resultado expresso em μ M equivalente de Trolox (MILLER *et al.*, 1993; RUFINO *et al.*, 2010, modificada).

4.4.1.3 *Método DPPH•*

A análise da atividade antioxidante total pelo método DPPH foi baseada na captura do radical 2, 2-difenil- 1-picril-hidrazil (DPPH•) pelos antioxidantes presentes no suco de caju através da metodologia de BRAND-WILLIAMS *et al.* (1995) com modificações. O radical DPPH• (0,06 mM, em álcool etílico) foi preparado no momento da análise. O experimento foi realizado em tubos de ensaio, 30 μ L de amostra (diluída 1:5 pela extração) com 1300 μ L do radical DPPH. A leitura (515 nm) foi realizada em cubetas de vidro, em

espectrofotômetro Evolution 220 (THERMO scientific ®) após 30 minutos de reação. Uma curva de calibração foi construída com o Trolox (50 - 1000 µM) e o resultado expresso em µM equivalente de Trolox. O álcool etílico foi utilizado como o branco.

4.4.1.4 *Método FRAP*

O ensaio FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) (BENZIE, et. al, 1996) é baseado na capacidade dos teores de ácido ascórbico e grupos fenólicos em reduzir o Fe^{3+} em Fe^{2+} . Quando isto ocorre, na presença de 2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ), a redução é acompanhada pela formação de um complexo corado com o Fe^{2+} . Uma curva padrão foi construída utilizando ácido ascórbico (concentração 100 a 2000 µM) e o resultado expresso em µM equivalente de ácido ascórbico. As leituras de absorbância foram realizadas a 393 nm após 30 minutos de reação no espectrofotômetro Evolution 220 (THERMO scientific ®), utilizando microplaca de 96 poços, onde 15 µ L da amostra foi misturada com 285 µ L da solução Frap.

4.4.2. *Determinação de compostos antioxidantes*

4.4.2.1 *Flavonoides Amarelos*

A concentração de flavonoides amarelos foi determinada segundo (DA SILVA et al., 2014). Uma alíquota de 1 mL de amostra foi homogeneizada com 3 mL de solução extratora (HCl 1,5 M e etanol 85% v/v) por 1 minuto e depois o volume foi completado para 5 mL. Em seguida foram centrifugadas a 2683 x g por 5 min a 4°C onde o sobrenadante foi considerado como fonte de flavonoides amarelos. A análise foi feita em microplaca e a leitura das absorbâncias (200 µL da amostra) realizada em espectrofotômetro ELISA Epoch™ (Biotek, Estados Unidos) a 374 nm. O conteúdo de flavonoides amarelos foi calculado usando a equação abaixo e seu respectivo coeficiente de absorção foi 510 g/100 mL.cm, pois o raio ótico utilizado foi da microplaca (0,67 cm). O resultado foi expresso em mg/100mL.

$$\text{Flavonóides Amarelos} = \frac{\text{ABS} \times \text{fator de diluição} \times 1000}{510,67} \quad (2)$$

4.4.2.2 Vitamina C

Para determinar a concentração de vitamina C foi utilizada a metodologia proposta por SELIMOVIC *et al.* (2011), adaptada por FERNANDES (2015). A uma alíquota de 150 µL do suco adicionou-se 1350 µL de tampão contendo fosfato de Potássio monobásico anidro 0,03 M e fosfato de sódio dibásico anidro $8,99 \cdot 10^{-4}$ M, pH 5,4 contendo 0,075% (m/v) de oxalato de sódio. A mistura foi homogeneizada em Vortex (Kasvi), em seguida centrifugou-se a 10000 g, por 5 min. a 4°C. O sobrenadante foi retirado e lido em espectrofotômetro (Evolution 220) em 266nm, em cubetas de quartzo. Os valores foram expressos em mg/L a partir de uma curva de calibração preparada com solução padrão de ácido ascórbico (0 a 50 mg/L) (FERNANDES *et al.* 2015).

4.4.3 Atividades Enzimáticas

4.4.3.1 Extração

A extração das enzimas peroxidase (POD EC 1.11.1.7) e polifenoloxidase (PPO EC 1.14.18.1) foi realizada conforme método de WISSEMANN & LEE (1980) e FONTELES *et al.* (2012), com modificações. Alíquotas de 1mL de suco foram homogeneizadas em vortex com 0,5 mL de solução tampão contendo fosfato de potássio monobásico 0,05 M e 1% (m/v) de polivinilpirrolidona (PVP), pH 7,0. Em seguida, o homogeneizado foi centrifugado a 11118 x g, a 4 °C por 20 min. O material precipitado foi descartado e o sobrenadante foi recolhido e congelado a -18 °C para posterior utilização como extrato para a análise de ambas enzimas.

4.4.3.2 Atividade de Polifenoloxidase

Para essa análise, uma mistura de reação contendo 100 µL de extrato e 600 µL de solução tampão fosfato de potássio, pH 6,0, contendo 0,1 M de KCl e 0,1 M de catecol (preparada no momento da análise), foi acondicionada em microtubo eppendorf ® em banho maria a 30 °C por 30 min. Ao término do tempo de incubação, 266 µL de solução de ácido perclórico 0,2 N foram adicionados à mistura para que a reação da PPO fosse paralisada. Essa mistura final foi centrifugada a 2795 x g por 5 min e o sobrenadante (200µl) submetido à leitura em espectrofotômetro ELISA Epoch™ (Biotek, Estados Unidos), a 395nm (FONTELES *et al.*, 2012; WISSEMANN; LEE, 1980).

4.4.3.3 Atividade de Peroxidase

Em uma microplaca, 110 μL de solução tampão de fosfato-citrato 0,1M pH 5 contendo 1% (m/v) de guaiacol (adicionado na hora da análise), foram mantidos a 30 °C e, em seguida, foram adicionados 60 μL do extrato enzimático e 10 μL de solução de H_2O_2 3 % (v/v) para dar início a reação. Após a adição da solução de peróxido contou-se 5 minutos de reação e adicionou-se 20 μL de bissulfito de Sódio 30 % (m/v) para parar a reação. Logo depois a mistura foi lida em espectrofotômetro ELISA EpochTM (Biotek, Estados Unidos), a 470nm (FONTELES et al., 2012; WISSEMANN; LEE, 1980). Após as leituras de absorbâncias considerou-se uma unidade de atividade enzimática (UAE) de peroxidase e polifenoloxidase como a quantidade de atividade enzimática que produz uma mudança de 0,001 unidade de absorbância. Os resultados foram expressos em UAE/min/mL de suco.

4.4.4 Cor

A determinação dos parâmetros instrumentais de cor foi realizada utilizando colorímetro CR300 (Konica Minolta, Japão) segundo a metodologia adaptada de YONG *et al.* (2015). Para calibrar o equipamento foi utilizada um iluminante padrão D65. A leitura das amostras de suco foi realizada através de uma área de visualização de 8 mm. Os parâmetros colorimétricos foram avaliados de acordo com o sistema de cores CIE L^* , a^* e b^* . Os valores de luminosidade (L^*), parâmetro de croma vermelho-verde (a^*) e parâmetro de croma amarelo-azul (b^*) foram determinados através de leitura direta. Os valores numéricos de L^* , a^* e b^* foram convertidos em diferença total da cor (ΔE), índice de saturação (ΔC) e ângulo de tonalidade (h°) de acordo com as Equações 1-3, respectivamente:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

$$\Delta C = \sqrt{(a_0^{*2} + b_0^{*2})} - \sqrt{(a_s^{*2} + b_s^{*2})} \quad (4)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} b^*/a^* \quad (5)$$

Os subíndices a_0 e a_s representam a amostra padrão (antes do processamento) e a amostra processada, respectivamente. As leituras foram realizadas em quintuplicata.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Ultrassom

A análise de variância (ANOVA) indicou que nenhum dos parâmetros analisados obtiveram significância estatística do modelo matemático a 95% de confiança. O diagrama de pareto mostrou que as variáveis independentes estudadas não mostraram efeito significativo sobre os parâmetros estudados. Desse modo os resultados foram avaliados segundo o teste Tukey ao nível de significância de 5% e os resultados foram expressos em média \pm desvio padrão.

5.1.1 Atividade Antioxidante ABTS, DPPH e FRAP

Observa-se na Tabela 2 os resultados obtidos na análise de atividade antioxidante pelo método ABTS. Verificou-se que todos os tratamentos diminuíram a capacidade antioxidante em relação ao controle, mas se conservaram superiores ao tratamento térmico. Os processamentos US7 e US8 obtiveram os melhores resultados dessa característica no suco. Mostrando que altas intensidades ultrassônicas conservam melhor a capacidade antioxidante do que as baixas (US1, US2, US3 e US4), independente do tempo e temperatura. Os ensaios US1 (75,34 W/cm²; 2 min; 20°C) e US4 (75,34 W/cm²; 10 min; 40°C) não diferiram entre si, mostrando que não é necessário tempos superiores a 2 minutos e temperaturas elevadas para alcançar os efeitos do ultrassom nessa intensidade.

Tabela 2 - Resultados dos efeitos do Ultrassom na atividade antioxidante (ABTS) do suco de caju.

Processamento	Intensidade W/cm ²	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	ABTS (μ M eq. de Trolox)	%
Controle	-	-	-	1552 \pm 70 ^e	100%
Trat.Térmico	-	1	90	887,7 \pm 55 ^b	57%
US 1	75,34	2	20	1027 \pm 129 ^{abc}	66%
US 2	75,34	2	40	1012 \pm 43 ^{bc}	65%
US 3	75,34	10	20	1096 \pm 99 ^{ac}	70%
US 4	75,34	10	40	1057 \pm 54 ^{abc}	68%
US 5	372,93	2	20	1221 \pm 57 ^{ad}	79%
US 6	372,93	2	40	1216 \pm 50 ^{ad}	78%
US 7	372,93	10	20	1424 \pm 16 ^e	92%
US 8	372,93	10	40	1390 \pm 20 ^{de}	90%

Os Valores são média \pm desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as

amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Na tabela 7, pode-se observar que os ensaios US6, US7 e US8 alcançaram as maiores inativações da enzima peroxidase. Desse modo, a conservação da atividade antioxidante no suco de caju encontrada pelo método ABTS pode estar relacionada à capacidade da cavitação de inativar algumas enzimas relacionadas à oxidação, como a peroxidase, responsável pelo escurecimento enzimático, o que dá um saldo positivo de capacidade antioxidante na matriz alimentar (CAO *et al.*, 2018).

WANG *et al.* (2019) constatou no suco de morango um aumento significativo ($p < 0,05$) da atividade antioxidante nas amostras tratadas com ultrassom (200 W; 10 kHz) por 12 min, com aumento de 51,6% (289,95 $\mu\text{mol Trolox}/100 \text{ mL}$), em relação ao seu conteúdo original (191,30 $\mu\text{mol Trolox} /100 \text{ mL}$).

Os resultados acima mostram que a atividade antioxidante sofreu maior influência da potência e do tempo. A combinação da maior potência e do maior tempo apresentou as melhores capacidades antioxidantes, independentemente do tempo e da temperatura. O'DONNELL *et al.* (2010) também afirmaram que a intensidade do ultrassom influencia de maneira importante no efeito da sonicação, ou seja, há um incremento na capacidade de extração quando a intensidade aplicada do ultrassom aumenta.

A adição de radicais hidroxilas (OH^\cdot), gerados quimicamente pela sonicação, ao anel aromático dos compostos fenólicos também pode ser razão da conservação dessa atividade. Pois tem sido relatado que a adição de um segundo grupo hidroxila nas posições orto ou para pode aumentar a atividade antioxidante das moléculas fenólicas (WANG *et al.*, 2019).

Foi visto que o fenômeno da cavitação ultrassônica possui maior poder oxidante a baixas intensidades (75,34 W/cm^2) e maior poder de extração à maiores intensidades (372,93 W/cm^2). A redução da capacidade antioxidante do suco de caju encontrada nos ensaios que utilizaram a menor potência, independente do tempo e temperatura, pode ser atribuído à oxidação gerada pelo vapor d'água ou outros gases que estão dissolvidos no suco, como O_2 e N_2 , que preenchem as bolhas cavitacionais formadas pela sonicação (DUBROVIĆ *et al.*, 2011).

WANG *et al.* (2019) ao analisarem amostras de suco de morango tratadas com ultrassom a 200 W, 10 kHz por 12 minutos observaram que os compostos fenólicos aumentaram de 57,60 mg GAE/100 mL (controle) para 95,76 mg GAE/100 mL nas amostras pós-tratamento. Reforçando o alto poder de extração de altas intensidades ultrassônicas sobre os compostos bioativos.

Na Tabela 3 os resultados do DPPH foram coerentes aos encontrados pelo ABTS, mostrando que todos os processamentos que utilizaram a maior potência (372,93 W/cm²), independente do tempo e da temperatura, a atividade antioxidante foi significativamente maior ($p < 0,05$) em relação ao tratamento térmico e os pontos US5, US6, US7 e US8 aumentaram em 26%, 14%, 19% e 22%, respectivamente, em relação ao controle.

Tabela 3 - Resultados dos efeitos do Ultrassom na atividade antioxidante (DPPH) do suco de caju.

Processamento	Intensidade W/cm ²	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	DPPH (µM eq. de Trolox)	%
Controle	-	-	-	1324 ± 86 ^{ab}	100%
Trat. Térmico	-	1	90	1301 ± 91 ^{abd}	98%
US 1	75,34	2	20	1358 ± 46 ^{ab}	103%
US 2	75,34	2	40	1208 ± 108 ^{bd}	91%
US 3	75,34	10	20	1066 ± 133 ^d	81%
US 4	75,34	10	40	1380 ± 70 ^{ac}	104%
US 5	372,93	2	20	1668 ± 66 ^e	126%
US 6	372,93	2	40	1510 ± 129 ^{ace}	114%
US 7	372,93	10	20	1586 ± 82 ^{ac}	119%
US 8	372,93	10	40	1612 ± 43 ^{ce}	122%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Na literatura, WANG *et al.* (2019) também observaram maior inibição do DPPH (43,50%) após processamento ultrassônico (200 W; 10 kHz; 12 min.), em comparação às amostras controle (21,50%) de suco de morango. Resultado semelhante foi relatado em suco de laranja tratado com ultrassom (KHANDPUR; GOGATE, 2015). Esses resultados reforçam o poder de extração da cavitação ultrassônica em altas intensidades, que ao extrair os compostos bioativos (por exemplo, ácido ascórbico e compostos fenólicos) aumentam a capacidade antioxidante do suco de caju. Contudo, foi observado que o US7 (372,93 W/cm²; 10 min; 20°C) não obteve diferença significativa do ensaio US4 (75,34 W/cm²; 10 min; 40°C), segundo o método DPPH (Tabela 3) e FRAP (Tabela 4). Isto mostra que para potencializar a capacidade antioxidante do suco de caju a baixas intensidades o processo ultrassônico necessita de temperatura maior, como foi o caso do US4 (75,34 W/cm²; 10 min; 40°C), enquanto a altas intensidades não precisa.

Observa-se na Tabela 4 que todos os tratamentos ultrassônicos conservaram acima de 80% a atividade antioxidante do suco de caju, segundo o FRAP, e foram coerentes com o ABTS e o DPPH, pois apresentaram atividades antioxidantes maiores que o tratamento térmico. As amostras submetidas aos tratamentos US4, US7 e US8 aumentaram ($p < 0,05$) a

atividade em 27%, 28% e 13%, respectivamente, em relação ao controle. Os pontos US4 e US7 foram considerados iguais entre si e obtiveram as melhores atividades antioxidantes. Em comparação ao tratamento térmico, os ensaios US4 e US7 apresentaram um incremento de 57 % da capacidade antioxidante do suco.

Tabela 4 - Resultados dos efeitos do Ultrassom na atividade antioxidante (FRAP) do suco de caju.

Processamento	Intensidade W/cm ²	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	FRAP (µM eq. de ácido ascórbico)	%
Controle	-	-	-	2374 ± 33 ^{abc}	100%
Trat. Térmico	-	1	90	1685 ± 22 ^b	71%
US 1	75,34	2	20	2353 ± 30 ^{abc}	99%
US 2	75,34	2	40	2078 ± 14 ^{bc}	88%
US 3	75,34	10	20	2599 ± 9 ^{abc}	109%
US 4	75,34	10	40	3016 ± 58 ^a	127%
US 5	372,93	2	20	2199 ± 48 ^{abc}	93%
US 6	372,93	2	40	2356 ± 28 ^{abc}	99%
US 7	372,93	10	20	3043 ± 18 ^a	128%
US 8	372,93	10	40	2689 ± 30 ^{ac}	113%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

O ensaio US8 (372,93 W/cm²; 10 min; 40 °C), aumentou ($p < 0,05$) a atividade antioxidante do suco de caju em relação ao controle. Porém, observou-se que a temperatura utilizada (40°C) por ele influenciou no resultado obtido, com uma diminuição de 15% da atividade quando comparado ao mesmo tratamento (US7) em menor temperatura (20°C).

QUEIROZ *et al.* (2011) também verificaram a influência da temperatura na atividade antioxidante após analisar cortes de caju que foram armazenados a 2 °C (temperatura de refrigeração), 27 °C (temperatura ambiente) e 40 °C (temperatura extrema no verão) por 24 horas. Após o armazenamento a temperaturas diferentes os sucos foram produzidos sem adição de água e foi observado que o aumento da temperatura (40°C) diminuiu o conteúdo fenólico (ácido gálico e do conjugado de ácido cinâmico). Concluindo que a temperatura é um fator importante na alteração dos compostos fenólicos e consequentemente na atividade antioxidante.

5.1.2 Flavonoides Amarelos

Pode-se observar primeiramente na Tabela 5, que foi encontrado um baixo conteúdo de flavonoides amarelos na amostra controle quando comparado a literatura, onde

DE BRITO *et al.* (2007) detectou 13 tipos de flavonoides em pedúnculo de caju, quantificando 28 mg/100g de flavonoides glicosilados totais, onde 6 eram do tipo quercetina (11 mg/100 g) e 6 miricetina (15 mg/100 g), que são flavonóis de coloração amarela.

Contudo, DA SILVA *et al.* (2014) ao analisar o pedúnculo de caju em partes, casca e polpa separadas, verificaram que os flavonoides amarelos estão concentrados na casca (44,91 mg/100 g), pois estes não foram detectados na polpa. Isso pode explicar a baixa concentração desse composto encontrada no suco de caju usado nessa pesquisa (amostra controle: 0,37 mg/ 100mL), que foi produzido a partir de polpa de caju diluída (1:3). O processo de extração da polpa de caju também influencia no conteúdo final desses compostos encontrado no suco. Pois a maioria das polpas de caju são produzidas por prensagem, cuja técnica não extrai os compostos da casca e da fibra da fruta.

Tabela 5 - Resultados dos efeitos do Ultrassom sobre os flavonoides amarelos do suco de caju.

Processamento	Intensidade W/cm ²	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Flavonoides Amarelos (mg/100mL)	%
Controle	-	-	-	0,37 ± 0,01 ^{bc}	100%
Trat. Térmico	-	1	90	0,33 ± 0,01 ^a	89%
US 1	75,34	2	20	0,35 ± 0,01 ^{ab}	94%
US 2	75,34	2	40	0,33 ± 0,01 ^a	89%
US 3	75,34	10	20	0,38 ± 0,01 ^{bc}	102%
US 4	75,34	10	40	0,37 ± 0,01 ^{ab}	100%
US 5	372,93	2	20	0,36 ± 0,02 ^{ab}	97%
US 6	372,93	2	40	0,44 ± 0,01 ^{de}	118%
US 7	372,93	10	20	0,41 ± 0,03 ^{cd}	111%
US 8	372,93	10	40	0,46 ± 0,00 ^e	124%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Também é encontrado grande variabilidade no conteúdo de polifenóis dos frutos devido a forma de cultivo, diferenças no solo, condições climáticas, estação de crescimento, armazenamento pós-colheita e métodos de extração. A ativação da síntese de polifenóis nas plantas podem ocorrer em resposta a uma situação de estresse, como cortes, lesão, contaminação por patógenos ou baixos nutrientes (DIXON & PAIVA, 1995).

Ainda que se tenha encontrado um baixo conteúdo de flavonoides amarelos, foi visto um efeito positivo do ultrassom sobre esses compostos. A Tabela 5 mostra que os flavonoides amarelos aumentaram significativamente após os tratamentos US6, US7 e US8 em relação ao controle. Os tratamentos ultrassônicos incrementaram em até 24% (US8) esses compostos, ao contrário do tratamento térmico que diminuiu a concentração destes em 11%.

WANG *et al.* (2019) ao aplicar ultrassom (200 W; 10 kHz; 12 min.) em suco de morango, o teor de flavonoides totais (32,74 mg/100 mL) aumentou 80 % em comparação ao controle (18,20 mg/100 mL). Isso pode ser explicado pela descamação superficial, erosão e quebra de partículas decorrentes do processo de cavitação, que pode ser benéfico na liberação de compostos bioativos e no aumento do teor de flavonoides totais (VILKHU *et al.*, 2008). Esse aumento verificado nos processos com maiores intensidades pode ter sido influenciado pela alta intensidade do processo que potencializa a capacidade de extração da sonicação.

5.1.3 Vitamina C

Pode-se observar na Tabela 6 que os tratamentos ultrassônicos e o tratamento térmico, exceto o US5, obtiveram uma conservação considerável (acima de 90%) da vitamina C em relação à amostra controle. Esse resultado mostra que os parâmetros ultrassônicos utilizados no atual trabalho não obtiveram efeito negativo sobre a vitamina C do suco de caju.

Tabela 6 - Resultados dos efeitos do Ultrassom sobre a vitamina C do suco de caju.

Processamento	Intensidade W/cm ²	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Vitamina C (mg/L)	%
Controle	-	-	-	47,4 ± 0,5 ^{ab}	100%
Trat. Térmico	-	1	90	47,5 ± 0,4 ^{ab}	99%
US 1	75,34	2	20	46,3 ± 0,5 ^{abcd}	98%
US 2	75,34	2	40	44,4 ± 0,3 ^c	94%
US 3	75,34	10	20	44,9 ± 0,1 ^{cd}	95%
US 4	75,34	10	40	45,9 ± 0,1 ^{abcd}	97%
US 5	372,93	2	20	38,1 ± 0,2 ^e	81%
US 6	372,93	2	40	47,1 ± 0,2 ^{abd}	99%
US 7	372,93	10	20	47,6 ± 0,3 ^b	101%
US 8	372,93	10	40	45,9 ± 0,7 ^{acd}	96%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey (p < 0,05).

ABID *et al.* (2013) processaram suco de maçã com ultrassom por 30, 60 e 90 minutos e também verificaram que até 30 minutos o processamento não gerou efeito sobre a vitamina C, mas aumentou o conteúdo para 5,49 e 5,63 mg/100mL depois de 60 e 90 minutos, respectivamente, em relação ao controle (4,20 mg/100 mL).

Os dados encontrados na literatura não são claros a respeito do efeito do ultrassom sobre o ácido ascórbico. Há estudos que relatam degradação significativa do ácido ascórbico em sucos de tomate-de-capucho (*Physalis peruviana*) e de manga tratados com ultrassom (ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.*, 2017; SANTHIRASEGARAM *et al.*, 2013), enquanto que

outros relatam aumento ($p < 0,05$) desse ácido para: 20,62; 21,80; 26,55 e 22,84 mg/100 mL, quando comparados ao controle (16,30 mg/100 mL) após processamento ultrassônico (400W; 20Hz) em suco de morango por 4 min (US4), 8 min (US8), 12 min (US12) e 16 min (US16), respectivamente (WANG *et al.*, 2019).

O aumento do ácido ascórbico no suco processado por ultrassom pode ser explicado pela ação da cavitação sobre a parede celular, que resulta na ruptura mecânica da célula, liberando ácido ascórbico no suco, apesar de parte ser oxidada. Além disso, pode remover oxigênio evitando a oxidação da vitamina C. Já a degradação desse composto pode ser atribuída à reação com radicais livres (principalmente hidroxila), comumente produzidos em frequências intermediárias (200 – 500 kHz) e cuja produção é influenciada por uma série de fatores, como a presença de gases dissolvidos (principalmente O₂), a potência acústica e a temperatura (AGUILAR *et al.*, 2017; PUTNIK *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2019). Com isso, a conservação da vitamina C obtida pelos parâmetros utilizados no presente trabalho pode ser atribuída a remoção de oxigênio do meio e a baixa frequência utilizada (19 kHz).

AGUILAR *et al.* (2017), com o objetivo de analisar a estabilidade do ácido ascórbico estudaram a termossonicação por 60 min (700W; 25 kHz; 0,016 W/mL) em produtos alimentares líquidos, utilizando soluções modelos de ácido ascórbico (250 mg/mL) que foram desgaseificadas e processadas: ultrassom a 25 °C (sonicação); ultrassom a 55 °C; processamento sem ultrassom a 55 °C (tratamento térmico) e processamento sem ultrassom a 25 °C (controle). Verificaram que o teor de ácido ascórbico foi estável durante todos os tratamentos, inclusive o tratamento térmico não foi suficiente para degradar um número representativo de moléculas de ácido ascórbico nos sistemas aquosos desgaseificados. Concluindo que a concentração de oxigênio no suco influencia mais o conteúdo de ácido ascórbico do que a temperatura, e sugere que a desgaseificação prévia das amostras pode limitar a reação de oxidação, mesmo em altas temperaturas.

O processo ultrassônico primeiramente rompe as estruturas intracelulares (plastídios) resultando na liberação dos compostos do interior das células. Dessa forma, as moléculas de ácido ascórbico entram em contato com o oxigênio dispersos no citoplasma. Assim, é possível haver o início da degradação desse composto que continua quando as paredes das células se quebram, permitindo a dispersão de compostos bioativos no soro do suco, onde acontece o contato com maior concentração de oxigênio. Portanto desgaseificar previamente o suco antes do processamento reduz a possibilidade de oxidação da vitamina C (AGUILAR *et al.*, 2017).

Para validar os processos anteriormente citados AGUILAR *et al.* (2017)

processou sucos de laranja e de tangerina a 55 ° C (desgaseificados), com e sem ultrassom (700W;25Hz). Os dois tratamentos também não obtiveram efeito significativo ($p < 0,05$) no teor de ácido ascórbico para nenhum suco tratado. Concluindo que o ultrassom pode vir a ser usado de forma simples ou em conjunto com outras tecnologias não-térmicas para conservar os compostos bioativos dos sucos de frutas.

5.1.4 Enzimas

Na tabela abaixo (Tabela 7) verifica-se que todos os tratamentos ultrassônicos diminuíram ($p < 0,05$) a atividade enzimática em relação ao suco controle. A maior inativação foi obtida pelos tratamentos US6, US7 e US8, diminuindo até 89% (US7) em relação ao controle. Resultado próximo foi encontrado com aplicação ultrassônica de 373,93 W/cm² por 10 min em suco de melão *Cantaloupe*, com redução de 77% da atividade enzimática (FONTELES, 2011).

Tabela 7 - Resultados do efeito do ultrassom na atividade da peroxidase e da polifenoloxidase do suco de caju.

Processamento (W/cm ²)	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Peroxidase (UAE/min/mL)	Atividade Residual %	Polifenoloxidase (UAE/min/mL)	
Controle	-	-	4,22 ± 0,58 ^c	100%	nd	
Trat. Térmico	1	90	0,22 ± 0,00 ^d	5%	nd	
US 1	75,34	2	20	3,22 ± 0,58 ^a	76%	nd
US 2	75,34	2	40	3,44 ± 0,19 ^{ac}	81%	nd
US 3	75,34	10	20	3,11 ± 0,20 ^a	73%	nd
US 4	75,34	10	40	2,78 ± 0,19 ^a	66%	nd
US 5	372,93	2	20	3,44 ± 0,19 ^{ac}	81%	nd
US 6	372,93	2	40	1,11 ± 0,19 ^b	26%	nd
US 7	372,93	10	20	0,44 ± 0,19 ^{bd}	11%	nd
US 8	372,93	10	40	1,11 ± 0,20 ^b	26%	nd

nd: Não detectado. Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

O ultrassom (US7) alcançou uma atividade residual de 11% (0,44 UAE/min./mL), muito próxima a alcançada pelo tratamento térmico convencional (5%; 0,22 UAE/min./mL). A mesma inativação (89%) da peroxidase encontrada nesse trabalho foi verificada por LAMIKANRA & WATSON (2000) que observaram redução de 90% na atividade dessa enzima em melões *Cantaloupe* com a aplicação de tratamento térmico a 80°C por 5 minutos. Isso mostra que a sonicação é uma tecnologia emergente capaz de inativar enzimas que são

indesejadas nos produtos frutíferos, e pode substituir o calor na inativação enzimática.

O que pode explicar a inativação da peroxidase do suco de caju por ultrassom é o efeito da cavitação e da oscilação mecânica que pode promover ou causar danos às enzimas, aos substratos, às reações entre enzimas e substratos e seus arredores. Esses efeitos podem ser: alteração na conformação da enzima (acelerar o contato entre ela e o substrato), alteração de suas características, desnaturação, efeitos nos substratos, alteração nas características das reações (enzima + substrato), aumento da atividade, fornecimento de um ambiente ideal para que as reações ocorram (HUANG *et al.*, 2017).

A desnaturação proteica de enzimas após a aplicação de ultrassom foi constatada por KAPTUROWSKA *et al.* (2012), que verificaram o impacto das ondas ultrassônicas geradas por um sonicador do tipo trompa sobre a atividade lipolítica da lipase produzida pela levedura *Yarrowia lipolytica* KKP 379. Ao avaliarem a eficiência da sonicação na liberação da enzima pela *Y. Lipolytica*, verificaram que os parâmetros ideais do processo de liberação da enzima (150W/15 min e 9 semanas de tempo de armazenamento da biomassa congelada) não foram os mais eficazes para a obtenção de alta atividade lipolítica devido à desnaturação proteica sofrida pela lipase como efeito da cavitação.

Quanto a enzima polifenoloxidase, não foi detectada atividade enzimática no suco de caju quando analisado por este método. Resultado similar foi encontrado por RABELO (2012) que também não detectou atividade da polifenoloxidase, apenas atividade peroxidásica em suco de caju.

5.1.5 Cor

Os parâmetros de cor como ângulo de tonalidade (h°), índice de saturação (ΔC) e variação total de cor (ΔE) foram analisados e os resultados podem ser observados na tabela 8.

Tabela 8 - Resultados do efeito do ultrassom na Cor do suco de caju.

Processamento (W/cm ²)	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	h°	ΔC	ΔE
Controle	-	-	101,84 ± 0,08 ^d	-	-
Trat. Térmico	1	90	105,08 ± 0,05 ^f	17,8 ± 2,9 ^d	7,47 ± 0,70 ^d
US 1	75,34	2	102,83 ± 0,11 ^{ce}	28,7 ± 0,62 ^a	1,32 ± 0,14 ^b
US 2	75,34	2	103,52 ± 0,19 ^{ab}	29,6 ± 0,83 ^{ab}	3,49 ± 0,61 ^c
US 3	75,34	10	102,92 ± 0,16 ^c	29,7 ± 0,41 ^{ab}	6,43 ± 0,37 ^a
US 4	75,34	10	103,76 ± 0,08 ^b	29,3 ± 0,38 ^a	5,34 ± 0,11 ^a
US 5	372,93	2	102,35 ± 0,19 ^{de}	31,5 ± 0,55 ^c	5,31 ± 0,91 ^a
US 6	372,93	2	103,10 ± 0,50 ^{ac}	31,2 ± 1,46 ^{bc}	5,58 ± 0,37 ^a
US 7	372,93	10	103,54 ± 0,30 ^{ab}	29,9 ± 0,79 ^{abc}	8,33 ± 0,23 ^d
US 8	372,93	10	103,47 ± 0,36 ^{ab}	30,0 ± 1,04 ^{abc}	5,40 ± 0,73 ^a

h° (ângulo de tonalidade); ΔC (índice de saturação); ΔE (variação total da cor). Os Valores são média ± desvio. Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o ângulo de tonalidade (h°) foi observado que todos os tratamentos diferiram ($p < 0,05$) da amostra controle e do tratamento térmico. Houve um aumento nos valores desse parâmetro, mas os ensaios continuaram próximos ao ângulo de 100° como o controle. Contudo não houve modificação na coloração do suco de caju, pois o h° continuou na faixa do amarelo.

O índice de saturação (ΔC) e o ângulo de tonalidade (h°) podem melhorar o entendimento das variações da cor encontradas nas amostras. O ΔC indica a variação do grau de intensidade do croma (a^* e b^*) da amostra tratada com relação à fresca. Quanto maior o valor, menor a saturação da amostra, ou seja, mais intensa e vívida ela é.

Foi observado que a maior potência aumentou a vivacidade (ΔC) da cor do suco tratado em relação ao controle e ao tratamento térmico. Tendência semelhante também foi observada no croma da amostra de suco de morango com um ligeiro aumento no tratamento com ultrassom de 12 min (WANG *et al.*, 2019). Isso pode ser resultado de reações que acontecem durante o tratamento ultrassônico, como o aumento da hidroxilação do anel aromático dos fenóis, o que aumenta a atividade antioxidante e leva a uma diminuição na oxidação dos pigmentos, aumentando assim a intensidade e vivacidade da cor do suco (ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.*, 2017).

O ΔE é a variação total de cor entre a amostra tratada e a controle. Um $\Delta E > 2$ corresponde a diferenças visualmente perceptíveis em diversos produtos (CHOI *et al.*, 2002). Assim, verificou-se que todas as amostras tratadas exceto a submetida ao tratamento US1 (75.34 W/cm²; 2 minutos; 20°C) são consideradas visualmente distintas, apresentando ΔE maior que 2. WANG *et al.* (2019) verificaram que o ΔE das amostras de suco de morango tratadas com ultrassom apresentou uma tendência crescente com o aumento do tempo de processo. As amostras tratadas por ultrassom (200 W; 10 kHz; 12 min.) e (200 W; 10 kHz; 16 min.) variaram 0,42 e 1,01, respectivamente, mas não foram consideradas distintas visualmente. Essa diferença visual pode ter sido consequência do aumento da intensidade da cor (ΔC), um efeito considerado positivo no suco de caju, pois a vivacidade dos sucos para os consumidores é sinônimo de produto fresco e favorece a escolha do produto na hora da compra.

5.2 Ozônio

5.2.1 Atividade Antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP)

Segundo o ABTS (Tabela 9), todos os tratamentos de ozonização diminuíram ($p < 0,05$) em relação ao controle, mas não diferiram entre si. Quando comparados ao tratamento térmico, todos tratamentos apresentaram maiores atividades antioxidantes, conservando até 20% mais essa característica no suco.

Para o método de análise DPPH (Tabela 10), todos os processamentos de ozonização também diminuíram ($p < 0,05$) a capacidade antioxidante em relação ao controle. Mas não diferiram entre si e do tratamento térmico. Já os resultados encontrados segundo o FRAP (Tabela 11), o processamento OZ1 obteve o melhor resultado de atividade antioxidante em relação ao controle e ao tratamento térmico, os outros ensaios não obtiveram diferença significativa entre si e o controle.

As mudanças observadas na atividade antioxidante do suco de caju podem estar associadas às alterações no conteúdo total de compostos bioativos (compostos fenólicos) devido ao estresse oxidativo.

Tabela 9 - Resultados do efeito do ozônio sobre a atividade antioxidante (ABTS) do suco de caju.

Processamento	Concentração (mgO ₃ /mL)	ABTS (μM eq. de Trolox)	%
Controle	-	1340,0 ± 26,0 ^c	100%
Trat. Térmico	-	887,7 ± 55,5 ^b	66%
OZ1	0,08	1087,7 ± 68,4 ^a	81%
OZ2	0,16	1041,1 ± 38,3 ^a	78%
OZ3	0,24	1155,5 ± 21,4 ^a	86%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey (p < 0,05).

Tabela 10 - Resultados do efeito do ozônio sobre a atividade antioxidante (DPPH) do suco de caju.

Processamento	Concentração (mgO ₃ /mL)	DPPH (μM eq. de Trolox)	%
Controle	-	1537,3 ± 56,0 ^b	100%
Trat. Térmico	-	1301,7 ± 91,0 ^a	84%
OZ1	0,08	1264,0 ± 72,3 ^a	82%
OZ2	0,16	1088,4 ± 36,7 ^a	71%
OZ3	0,24	1292,9 ± 36,9 ^a	84%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey (p < 0,05).

Tabela 11 - Resultados do efeito do ozônio sobre a atividade antioxidante (FRAP) do suco de caju.

Processamento	Concentração (mgO ₃ /mL)	FRAP (μM eq. de ácido ascórbico)	%
Controle	-	2226,5 ± 100,7 ^a	100%
Trat. Térmico	-	1685,0 ± 22,0 ^b	75%
OZ1	0,08	2478,2 ± 146,0 ^c	111%
OZ2	0,16	2215,4 ± 215,5 ^a	99%
OZ3	0,24	2263,5 ± 65,7 ^a	101%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey (p < 0,05).

Segundo ALMEIDA *et al.* (2015), a degradação de compostos fenólicos e consequentemente a diminuição da atividade antioxidante após a ozonização é explicado pelo rompimento do anel aromático e consequentemente a formação de compostos hidroxilados e quinônicos.

FONSECA *et al.* (2017) também encontraram degradação de compostos fenólicos (precursores da cor do caldo) após aplicação de ozônio na clarificação do caldo de cana-de-açúcar. Segundo FUNDO *et al.* (2018) a atividade antioxidante total do suco de

melão também sofreu uma queda de 45% e 52% após 30 min e 60 min de exposição ao ozônio ($7,0 \pm 2,4$ g/L), respectivamente. A degradação considerável da atividade antioxidante neste trabalho difere do atual devido ao tempo de exposição usado pelo autor que foi consideravelmente maior que o utilizado no atual trabalho (6 min). As cargas de ozônio aplicadas no suco de caju foram baseadas na carga mínima (0,075 mg O₃/mL) aplicada para inativação de 5 log UFC/mL de *E. coli* em suco de laranja (PATIL, BOURKE, *et al.*, 2009).

Os resultados encontrados para a atividade antioxidante do suco de caju foram comparados com os de ALMEIDA *et al.* (2015) que utilizaram uma concentração de 0,23 mgO₃/mL, próxima a do atual trabalho e verificaram que a concentração dos compostos fenólicos das amostras de suco de laranja prebiótico foram estatisticamente a mesma do controle, um resultado igual ao encontrado para a atividade antioxidante do suco de caju nos processamentos OZ2 e OZ3, segundo o FRAP (Tabela 11). Esses resultados podem estar relacionados com a concentração de ozônio aplicada, a concentração de carga orgânica e o Brix° dos sucos avaliados, pois CHOI *et al.* (2012) observaram que a quantidade dos sólidos presentes no suco, o ozônio residual no ambiente, fatores ambientais, como pH e temperatura e a quantidade de matéria orgânica que envolve as células influenciam nos efeitos da ozonização.

Embora os compostos fenólicos sejam suscetíveis ao ataque de ozônio, as amostras tratadas por essa tecnologia obtiveram maior conservação da atividade antioxidante quando comparada as que foram tratadas pelo tratamento térmico segundo o ABTS e o FRAP.

5.2.2 flavonoides amarelos e Vitamina C

Nos resultados abaixo (Tabela 12) observou-se que a ozonização diminuiu significativamente ($p < 0,05$) a concentração de flavonoides amarelos e de vitamina C no suco de caju. Porém, todos os tratamentos conservaram melhor os flavonoides quando comparado ao tratamento térmico.

Tabela 12 - Resultados do efeito do ozônio sobre os flavonoides amarelos do suco de caju.

Processamento	Concentração (mgO ₃ /mL)	Flavonoides Amarelos (mg/100mL)	%
Controle	-	$0,44 \pm 0,00^c$	100%
Trat. Térmico	-	$0,33 \pm 0,01^a$	75%
OZ1	0,08	$0,36 \pm 0,01^{ab}$	81%
OZ2	0,16	$0,36 \pm 0,02^{ab}$	81%
OZ3	0,24	$0,37 \pm 0,00^b$	84%

Os Valores são média \pm desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as

amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Tabela 13 - Resultados do efeito do ozônio sobre os Vitamina C do suco de caju.

Processamento	Concentração (mgO ₃ /mL)	Vitamina C (mg/L)	%
Controle	-	45,5 ± 2,1 ^{ab}	100%
Trat. Térmico	-	47,5 ± 0,4 ^b	104%
OZ1	0,08	47,1 ± 0,2 ^{ab}	103%
OZ2	0,16	44,6 ± 0,5 ^{ac}	98%
OZ3	0,24	42,6 ± 0,4 ^c	93%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

FUNDO *et al.* (2018) também verificaram que o ozônio (30 min de ozonização) reduziu significativamente o conteúdo total de carotenoides e da vitamina C no suco de melão como aconteceu no presente trabalho com os flavonoides amarelos e o ácido ascórbico. Os autores relacionaram a degradação desses compostos a clivagens oxidativas nas suas moléculas.

Essas degradações podem ser explicadas pelo efeito da ozonização nos compostos orgânicos presentes nos alimentos, que envolve muitas reações químicas e transferência de massa. Diferentes grupos funcionais (alcenos, compostos carbonílicos, álcoois e ácidos carboxílicos) são atacados pela molécula de ozônio e esse ataque pode ser direto ou indireto. Quando o ataque é indireto, ocorre através do subproduto da oxidação, o radical hidroxila. Quando o ataque é direto as reações ocorrem pela ação direta do ozônio e são consideradas seletivas (GOTTSCHALK, LIBRA e SAUPE, 2000). As duplas ligações são atacadas formando ozoneto primário instável que é clivado para formar aldeídos, cetonas e peróxido de hidrogênio (CATALDO, 2001).

5.2.3 Enzimas

Na tabela 14 observou-se que todos os tratamentos de ozônio obtiveram grande efeito sobre a atividade enzimática da peroxidase do suco de caju. A redução observada é diretamente proporcional ao aumento da concentração do ozônio. O ensaio OZ3 diminuiu 90% da atividade, redução igual a alcançada pelo tratamento térmico.

JARAMILLO SÁNCHEZ *et al.* (2018) estudaram a aplicação de ozônio no suco de pêssego tratado por 3, 4 e 5 min (0,11 mg O₃/min/mL) que apresentou atividade residual de POD de 52,1%, 33,0% e 19,0%, respectivamente. Ao aumentar a concentração para 0,22 mgO₃/ min/mL e aplicar por 1 minuto verificaram que a atividade residual foi 20,4% do POD

inicial, o que revela a forte influência da concentração do ozônio sobre a atividade enzimática. Essa concentração de ozônio foi muito próxima a aplicada no atual trabalho (OZ3) que reduziu a 10% a atividade residual do suco de caju, confirmando a inativação da enzima por ozonização.

Tabela 14 - Resultados do efeito do ozônio na atividade da peroxidase e polifenoloxidase do suco de caju.

Processamento	Concentração (mg O ₃ /mL)	Peroxidase (UAE/min/mL)	Atividade Residual %	Polifenoloxidase (UAE/min/mL)
Controle	-	2,11 ± 0,19 ^{ab}	100%	nd
Trat. Térmico	-	0,22 ± 0,00 ^b	10%	nd
OZ1	0,08	2,11 ± 0,19 ^d	100%	nd
OZ2	0,16	1,22 ± 0,00 ^c	57%	nd
OZ3	0,24	0,22 ± 0,00 ^a	10%	nd

nd: Não detectado. Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

A oxidação de enzimas (proteínas) por ozônio pode ser explicado pela modificação covalente da macromolécula, induzida seja por reação direta com ozônio ou por reações indiretas (JARAMILLO SÁNCHEZ *et al.*, 2018). As espécies reativas de oxigênio produzidas na decomposição do ozônio variam em sua reatividade e os danos resultantes são altamente variáveis e complexos. Em alguns casos, os danos estão limitados a resíduos específicos, enquanto em outros, é difundido e não específico. O Oxigênio de espécies altamente reativas podem interagir com o lado de ambos os aminoácidos das cadeias e esqueletos de proteínas resultando na fragmentação ou reticulações proteína-proteína. Em geral, espécies menos reativas apresentam maior seletividade no que diz respeito aos resíduos visados e a sua localização espacial. Assim, propriedades físicas e químicas de proteínas, incluindo conformação, estrutura e solubilidade, bem como atividades enzimáticas, pode mudar por oxidação (DAVIES, 2016).

Não foi encontrada atividade da enzima polifenoloxidase no suco de caju pelo método utilizado.

5.2.4 Cor

Os resultados da tabela abaixo (Tabela 15) mostram o efeito do ozônio sobre os parâmetros de cor do suco de caju.

Tabela 15 - Resultados do efeito do ozônio sobre a cor do suco de caju.

Processamento	Concentração (mgO ₃ /mL)	h°	ΔC	ΔE
Controle	-	104,0 ± 0,2 ^{ab}	-	-
Trat. Térmico	-	105,08 ± 0,05 ^b	17,8 ± 2,9 ^d	7,47 ± 0,70 ^b
OZ 1	0,08	103,4 ± 0,7 ^a	23,00 ± 2,58 ^a	5,88 ± 0,11 ^a
OZ 2	0,16	104,7 ± 0,3 ^b	20,39 ± 1,24 ^c	8,78 ± 0,90 ^b
OZ 3	0,24	103,9 ± 0,4 ^a	24,18 ± 1,82 ^{ab}	4,76 ± 0,09 ^a

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey (p < 0,05).

Para o ângulo de tonalidade (h°) foi observado que todos os tratamentos de ozonização diminuíram (p < 0,05) em relação a amostra controle. O OZ2 não obteve diferença significativa do tratamento térmico. Houve uma diminuição nos valores desse parâmetro para os tratamentos de OZ1 e OZ3, em relação ao controle e ao tratamento térmico, mas os ensaios mostraram proximidade ao ângulo de 100°C, o que revela que a cor, apesar da diferença estatisticamente, continua na faixa do amarelo. Diferenças significativas também foram obtidas entre todas as amostras de suco de melão *Cantaloupe*, sofrendo decaimento quando o ozônio foi aplicado. O suco fresco tinha o tom mais amarelado e vívido (FUNDO *et al.*, 2018).

Observou-se que o parâmetro Chroma mostrou uma diminuição significativa, o que revela uma diminuição na intensidade e vivacidade da cor do suco, porém todos os tratamentos obtiveram valores de chroma maiores que o tratamento térmico. Isso também aconteceu com os sucos de melão *Cantaloupe* ozonizados (FUNDO *et al.*, 2018) e pode ser explicado pela formação de compostos hidroxilados e quinônicos oriundos da degradação de compostos fenólicos (ALMEIDA *et al.*, 2015).

O ΔE é a variação total de cor entre a amostra tratada e a fresca. O ΔE > 2 corresponde a diferenças visualmente perceptíveis em diversos produtos (CHOI *et al.*, 2002) e é analiticamente classificado em muito distinto (ΔE > 3,0) distinto (1,5 < ΔE < 3,0) ou pouco distinto (ΔE < 1,5) (TIWARI *et al.*, 2008). Todas as amostras obtiveram ΔE maior que 3,

sendo classificadas como diferente da amostra controle segundo CHOI *et al.* (2002) e muito distinta segundo TIWARI *et al.* (2008). O processamento OZ2 não obteve diferença ($p < 0,05$) do tratamento térmico, e isso pode estar relacionado aos valores obtidos no ângulo de tonalidade (h°). Essa mudança na cor do suco de caju pode ser devido a diminuição dos flavonoides amarelos como ocorreu com os carotenoides no suco de melão, onde FUNDO *et al.* (2018) verificaram ΔE igual a 12.

Portanto, o ozônio não obteve um efeito positivo no suco de caju em relação a cor, pois diminuiu a intensidade das amostras tratadas, que foram consideradas diferentes visualmente em relação a amostra controle e isso pode afetar a escolha do cliente na compra do produto.

5.3 Luz Pulsada

5.3.1 Atividade Antioxidante e Compostos Bioativos

Podemos verificar nas Tabelas 16, 17 e 18 os resultados da atividade antioxidante segundo os métodos ABTS, DPPH e FRAP após o processamento com luz pulsada: 0,075; 0,700 e 1 J/cm².

Segundo o ABTS (Tabela 16), os tratamentos LP1 e LP2 aumentaram significativamente a atividade antioxidante do suco de caju em relação ao controle, mas quando a energia do processo aumentou para 1 J/cm² a atividade decaiu para 79%. A intensidade de 0.700 J/cm² foi a que obteve o melhor resultado segundo esse método.

Ao ser comparado com os resultados encontrados pelo método DPPH (Tabela 17) todos os tratamentos mantiveram a tendência numérica, mas não apresentaram diferença significativa entre si e o controle. Já para o FRAP (Tabela 18) os ensaios também não se diferenciaram, mas aumentaram ($p < 0,05$) em relação ao controle.

Todos tratamentos de luz pulsada alcançaram capacidade antioxidante superior ($p < 0,05$) ao tratamento térmico, segundo o ABTS, o DPPH e o FRAP, com exceção do LP3 para o método ABTS. A menor intensidade de luz pulsada aplicada foi suficiente para obter uma atividade antioxidante maior do que o tratamento térmico, o qual diminuiu significativamente em relação ao controle segundo os três métodos de análise.

Tabela 16 - Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre a atividade antioxidante (ABTS) do suco de caju.

Processamento	Energia J/cm ²	ABTS (μ M eq. de Trolox)	%
Controle	-	1261,1 \pm 48,5 ^b	100%
Trat. Térmico	-	887,7 \pm 55,5 ^a	70%
LP1	0,075	1335,5 \pm 46,7 ^{bc}	106%
LP2	0,700	1443,3 \pm 41,6 ^c	114%
LP3	1	991,1 \pm 50,1 ^a	79%

Os Valores são média \pm desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Tabela 17 - Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre a atividade antioxidante (DPPH) do suco de caju.

Processamento	Energia J/cm ²	DPPH (μ M eq. de Trolox)	%
Controle	-	1536,2 \pm 27,1 ^a	100%
Trat. Térmico	-	1301,7 \pm 91,0 ^b	84%
LP1	0,075	1622,9 \pm 34,0 ^a	106%
LP2	0,700	1626,2 \pm 28,3 ^a	106%
LP3	1	1581,8 \pm 18,9 ^a	103%

Os Valores são média \pm desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Tabela 18 - Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre a atividade antioxidante (FRAP) do suco de caju.

Processamento	Energia J/cm ²	FRAP (μ M eq. de ácido ascórbico)	%
Controle	-	2055,7 \pm 146,2 ^a	100%
Trat. Térmico	-	1685,0 \pm 22,0 ^{ab}	81%
LP1	0,075	2680,2 \pm 298,2 ^b	130%
LP2	0,700	2748,8 \pm 176,8 ^b	133%
LP3	1	2880,2 \pm 181,9 ^b	140%

Os Valores são média \pm desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

KWAW *et al.* (2018) aplicaram a combinação de luz pulsada + ultrassom (LPU) e ultrassom + luz pulsada (ULP) em suco de amora fermentado com ácido láctico e verificaram que a combinação que obteve a maior concentração total de compostos fenólicos foi a que aplicou luz pulsada antes do ultrassom (LPU). Isso aconteceu devido a luz pulsada promover a degradação de alguns fitonutrientes pelo efeito fotoquímico e consequentemente aumentar os ácidos fenólicos no meio, contribuindo também para um aumento significativo da atividade antioxidante do suco. Isto pode explicar o aumento da atividade antioxidante no presente trabalho, segundo o método ABTS e FRAP.

ROCK *et al.* (2015) encontraram o mesmo efeito da luz pulsada sobre a atividade antioxidante de blueberries frescas, ou seja, obteve a mesma tendência da atividade encontrada no suco de caju segundo o método ABTS, que aumentou nos primeiros ensaios (0,075 e 0,700 J/cm²) e diminuiu quando aplicada a maior intensidade (1 J/cm²). Verificaram que os compostos fenólicos aumentaram significativamente quando aplicado 60 e 90 segundos de luz pulsada (3 pulsos/s), onde o maior aumento relativo ao controle foi de 48% quando aplicado LP 90s. No entanto, uma diminuição numérica no total de fenólicos foi observada em LP 120 s, mas não se diferenciou do controle.

A diminuição de compostos fenólicos e conseqüentemente a diminuição da atividade antioxidante em experimentos que envolveram altas intensidades de luz pulsada, foi atribuída ao aumento da atividade da polifenoloxidase (PPO). No presente trabalho não foi encontrado atividade enzimática dessa enzima, mas foi encontrada atividade peroxidásica, enzima do mesmo grupo, que realiza as mesmas funções na matriz alimentar. A atividade da peroxidase (Tabela 21) não foi afetada (não houve inativação da enzima) quando aplicado 1 J/cm² no suco de caju. Portanto essa pode ser a explicação para a diminuição da atividade antioxidante quando foi aplicada a maior intensidade de luz pulsada (1 J/cm²) (ROCK *et al.*, 2015).

Na tabela abaixo (Tabela 19) observamos os resultados do efeito da luz pulsada sobre os flavonoides amarelos do suco de caju e verificamos que os tratamentos LP1 e LP2 aumentaram ($p > 0,05$) 42% e 14% em relação ao controle. Mas o LP3, o tratamento térmico e o controle não obtiveram diferença ($p > 0,05$) entre si.

A falta de informações e incertezas a respeito da absorção óptica e da dispersão característica dos principais componentes alimentares e suas interações com os fótons de luz pulsada é a principal dificuldade para explicar os efeitos dessa tecnologia sobre os compostos bioativos. Atualmente todos os métodos de ação utilizados pela luz pulsada estão voltados para a explicação da inativação microbiológica. Mas não explicam os resultados encontrados sobre os micronutrientes dos alimentos. Porém o método fotofísico, recentemente relatado por pesquisadores para a inativação de microrganismos, pode ser uma alternativa que explique os resultados obtidos sobre os micronutrientes dos alimentos.

O método fotofísico utiliza perturbações de alta energia para gerar rompimento da parede celular, permeabilidade da membrana citoplasmática e colapso de estruturas internas, o que pode gerar um aumento de micronutrientes e uma maior disponibilidade desses, devido a exposição dos componentes intracelulares (KOUTCHMA, 2018).

KWAW *et al.*, (2018) ao verificar o efeito da luz pulsada no suco de amora fermentado, detectaram uma correlação positiva ($p < 0,05$) entre compostos fenólicos totais e DPPH• e entre ABTS •+ e flavonoides. Com isso, os resultados do atual trabalho demonstram que a concentração dos flavonoides amarelos após a aplicação de luz pulsada (LP1) pode ter relação com o aumento da capacidade antioxidante do suco de caju, segundo o ABTS.

Tabela 19 – Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre os flavonoides amarelos do suco de caju.

Processamento	Energia J/cm ²	flavonoides amarelos (mg/100mL)	%
Controle	-	0,35 ± 0,01 ^a	100%
Trat. Térmico	-	0,33 ± 0,01 ^a	94%
LP1	0,075	0,50 ± 0,05 ^b	142%
LP2	0,700	0,40 ± 0,05 ^{ab}	114%
LP3	1	0,37 ± 0,01 ^a	105%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Na tabela 20 pode-se observar que todos os tratamentos de luz pulsada não obtiveram efeito sobre a vitamina C do suco de caju, todos os ensaios não diferiram significativamente em relação ao controle.

Tabela 20 - Resultados do efeito da Luz Pulsada sobre a Vitamina C do suco de caju.

Processamento	Energia J/cm ²	Vitamina C (mg/L)	%
Controle	-	47,5 ± 0,1 ^a	100%
Trat. Térmico	-	47,5 ± 0,4 ^a	100%
LP1	0,075	47,1 ± 0,5 ^a	99%
LP2	0,700	47,2 ± 0,5 ^a	99%
LP3	1	47,2 ± 0,2 ^a	99%

Os Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

ORLOWSKA *et al.* (2013) observaram que os efeitos distintos das fontes de UV no conteúdo da vitamina C podem estar relacionados às propriedades absorptivas do suco tratado e às características de emissão de lâmpadas usadas. A lâmpada HIP-2 (0,75 Hz, 344 J/pulso) utilizada pelos autores ocasionou a fotólise da vitamina C no suco de maçã analisado, mas as lâmpadas HIP-1 (8 Hz, 31 J/pulso) e HIP-3 (0,5 Hz, 644 J/pulso) não afetaram significativamente o conteúdo de vitamina C ($p > 0,05$). Concluindo que a energia transportada pelo pulso de luz e sua taxa de frequência podem ser parâmetros importantes que afetam a qualidade do suco e ao utilizar uma alta energia é necessário uma baixa frequência para evitar a fotólise da vitamina C.

FERRARIO & GUERRERO (2017) verificaram que as características do suco como, baixo valor de transmitância, turbidez do meio e partículas suspensas também

influenciam nos efeitos da luz pulsada, pois inibem a penetração da luz no líquido.

O conteúdo de vitamina C também foi conservado durante um armazenamento de 14 dias em fatias de morango tratadas com 4 J/cm², porém quando as fatias foram tratadas com uma intensidade maior (8 J/cm²) a vitamina C conservou-se apenas por 6 dias (AVALOS-LLANO *et al.*, 2018). No presente estudo pode-se concluir que todas as energias de luz pulsada utilizadas não alteram o conteúdo de vitamina C do suco de caju.

5.3.2 Enzimas

Na Tabela 21 pode ser observado que apenas o tratamento LP2 apresentou efeito positivo sobre a atividade da peroxidase, diminuindo em 32% a atividade inicial. Já o tratamento LP3, que utilizou maior potência, não inativou a peroxidase, mantendo a atividade enzimática igual ($p < 0,05$) a amostra controle. ROCK *et al.* (2015) também encontraram um aumento na atividade enzimática de amostras de blueberries que foram tratadas com as maiores intensidades de luz pulsada (LP). Em um estudo comparativo, WANG *et al.* (2017) verificaram que tratamentos com UV convencional pode inativar ou conformar o sítio ativo da enzima, levando a um aumento da atividade enzimática. Já a luz pulsada pode levar a mudanças estruturais não reversíveis que resultam em inativação enzimática como ocorreu quando foi aplicado o tratamento LP2.

Tabela 21 - Resultados do efeito da luz pulsada na atividade da peroxidase e da polifenoloxidase do suco de caju.

Processamento	Potência J/cm ²	Peroxidase UAE/min.mL	Atividade Residual %	Polifenoloxidase (UAE/min/mL)
Controle	-	2,11 ± 0,19 ^a	100%	
Trat. Térmico	-	0,22 ± 0,00 ^b	10%	
LP1	0,075	2,11 ± 0,38 ^a	100%	nd
LP2	0,700	1,44 ± 0,19 ^c	68%	
LP3	1	2,67 ± 0,19 ^a	126%	

nd: Não detectado. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Nos espectros de luz pulsada, a UV é a principal faixa de onda efetiva para desempenhar a inativação enzimática. Segundo WANG *et al.* (2017) a atividade biológica das proteínas depende de suas estruturas, que são alteradas pela fotooxidação causada pela exposição à luz UV que produz fenômenos de agregação. Porém os pulsos de LP de alta intensidade fornecem mais energia do que o tratamento UV convencional durante o mesmo

tempo de tratamento, o que torna a luz pulsada mais efetiva em comparação a UV.

WANG *et al.* (2017) analisaram o efeito da luz pulsada (100 a 500 J/pulso) em peroxidase de rábano e concluíram através de Análises morfológicas (Microscopia de força atômica, MFA) e estruturais de proteínas (espectroscopia Raman e espectroscopia de fluorescência) que a inativação dessa enzima foi devida à alta intensidade de irradiação de LP que levou à agregação de moléculas proteicas, diminuição da rugosidade superficial, ruptura de ligações dissulfeto e sulfidriolo, alteração do conteúdo da estrutura secundária e destruição da estrutura terciária da enzima, mostrando uma potencial aplicação dessa tecnologia sobre a inativação da peroxidase.

5.3.3 Cor

Na tabela abaixo (Tabela 22) pode-se verificar os efeitos da luz pulsada sobre os parâmetros de cor do suco de caju.

Tabela 22 - Resultados do efeito da luz pulsada na Cor do suco de caju.

Processamento	Potência J/cm ²	h°	ΔC	ΔE
Controle	-	103,46 ± 0,05 ^{ab}	-	-
Trat. Térmico	-	105,08 ± 0,05 ^d	17,8 ± 2,9 ^c	7,47 ± 0,70 ^c
LP1	0,075	103,46 ± 0,13 ^b	28,13 ± 1,87 ^a	4,76 ± 0,24 ^b
LP2	0,700	102,95 ± 0,44 ^a	31,41 ± 2,27 ^b	11,41 ± 0,23 ^a
LP3	1	101,77 ± 0,23 ^c	33,32 ± 0,76 ^b	11,07 ± 0,96 ^a

1: Potência (V); h° (ângulo de tonalidade); ΔC (índice de saturação); ΔE (variação total da cor). Valores são média ± desvio. Os Valores com letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem entre si pelo teste de tukey (p < 0,05).

Para o ângulo de tonalidade (h°) foi observado que todos os tratamentos diferiram (p < 0.05) da amostra controle e do tratamento térmico que obteve o maior valor para esse parâmetro. Houve uma diminuição nos valores à medida que os tratamentos foram aumentando a intensidade de luz pulsada aplicada. Mas todos os tratamentos continuaram na faixa da tonalidade amarelo (100°).

O índice de saturação (ΔC) que indica a variação do croma (a* e b*), grau de vivacidade ou intensidade da amostra tratada com relação à fresca aumentou à medida que a intensidade do tratamento foi superior, isso significa que a cor da amostra tratada com LP3 (33,32) obteve coloração mais vívida em relação aos outros tratamentos e ao controle.

Todas as amostras obtiveram ΔE maior que 2, sendo classificadas como diferentes visualmente da amostra controle, segundo CHOI *et al.* (2002). Essa diferença significativa foi

influenciada pelos valores do índice de saturação que indicaram maior vivacidade da cor do suco após o tratamento. Essa diferença pós-tratamento pode ser considerada positiva partindo da perspectiva que os consumidores têm preferência por sucos com cores vívidas, que demonstram o frescor do produto. Com esses parâmetros de cor obtidos pelas amostras tratadas, conclui-se que a luz pulsada pode ser utilizada para dar vivacidade a cor de suco de caju e ser uma potencial tecnologia a ser aplicada pelas indústrias de sucos.

6 TRATAMENTO TÉRMICO

Foi observado que o tratamento térmico (90 °C/1 min) reduziu significativamente ($p < 0,05$) a atividade antioxidante e o conteúdo de flavonoides amarelos do suco de caju, quando comparado aos efeitos das tecnologias não-térmicas estudadas. Mas conseguiu conservar a vitamina C e alcançou inativação enzimática da peroxidase (10% de atividade residual).

SANCHO *et al.* (2008) ao avaliarem as principais alterações físico-químicas de suco de caju com alto teor de polpa durante todas as etapas do processamento, desde a formulação do produto até a pasteurização. Verificaram que durante a etapa de pasteurização houve maior perda de ácido ascórbico, carotenoides e antocianinas.

DAMASCENO *et al.* (2008) ao estudarem suco clarificado a 4 temperaturas diferentes, onde os experimentos a 90 e 100 °C foram realizados em banho maria, e os experimentos a 111 e 121 °C foram realizados em autoclave. Concluíram que o processamento térmico conduzido em um banho de água para a aplicação do calor, deve ser realizado a 90 °C, temperatura na qual a degradação do ácido ascórbico foi menor, quando comparado a maior temperatura (100°C), mas ainda houve formação de 5-HMF (responsável pelo escurecimento).

Isso pode explicar o que ocorreu no presente trabalho, pois o suco de caju foi processado em banho-maria (90 °C/1 min), e não obteve degradação da vitamina C, mas obteve efeito negativo sobre a cor, que pode estar relacionado a diminuição de flavonoides amarelos e a formação de 5-HMF.

7 RESUMO COMPARATIVO

Observa-se abaixo um gráfico comparativo com o melhor ensaio de cada tecnologia estudada para cada análise realizada.

Para a atividade antioxidante (Gráfico 1) o ensaio LP2 (0,700 J/cm²) apresentou o

melhor resultado seguido do ultrassom, US7 (372,93 W/cm²; 10 min; 20°C), apresentando a mesma tendência para o resultado da Vitamina C (Gráfico 3). O ensaio LP1 apresentou a melhor resposta para o conteúdo de flavonoides amarelos (Gráfico 2) seguido do US8.

A melhor inativação da enzima peroxidase foi alcançada pelo ensaio OZ3 (0,24 mgO₃/mL) seguido do US7 (372,93 W/cm²; 10 min; 20°C). A tecnologia não-térmica que apresentou o melhor efeito sobre a cor do suco de caju foi o ensaio LP2 (0,700 J/cm²) seguido do US7 (372,93 W/cm²; 10 min; 20°C).

Gráfico 1 – Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para a atividade antioxidante.

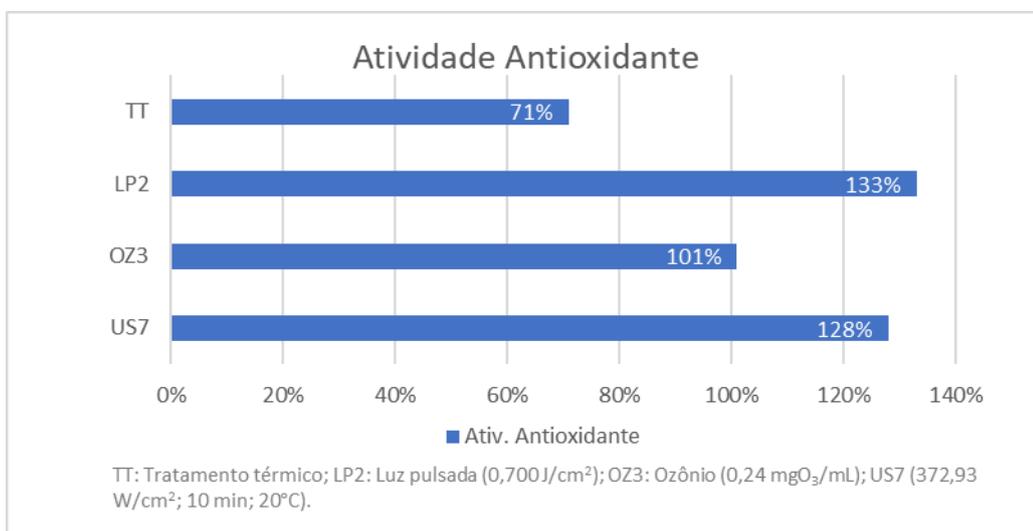


Gráfico 2 - Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para os flavonoides amarelos.

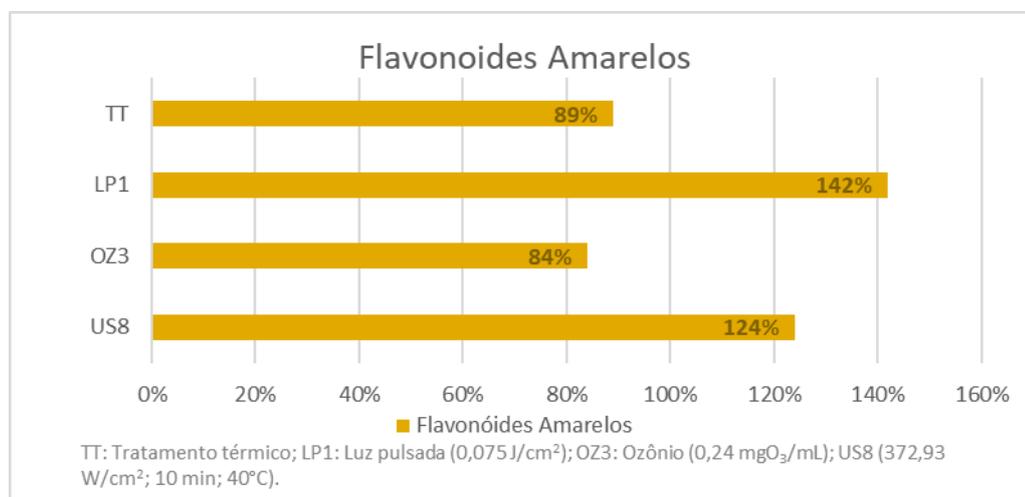


Gráfico 3 - Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para a Vitamina C.

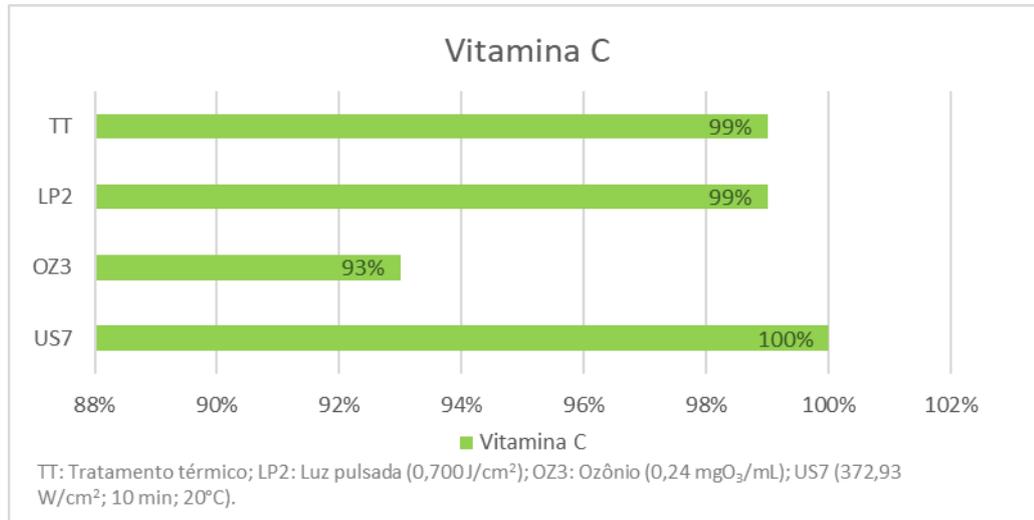


Gráfico 4- Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para a atividade residual da peroxidase.

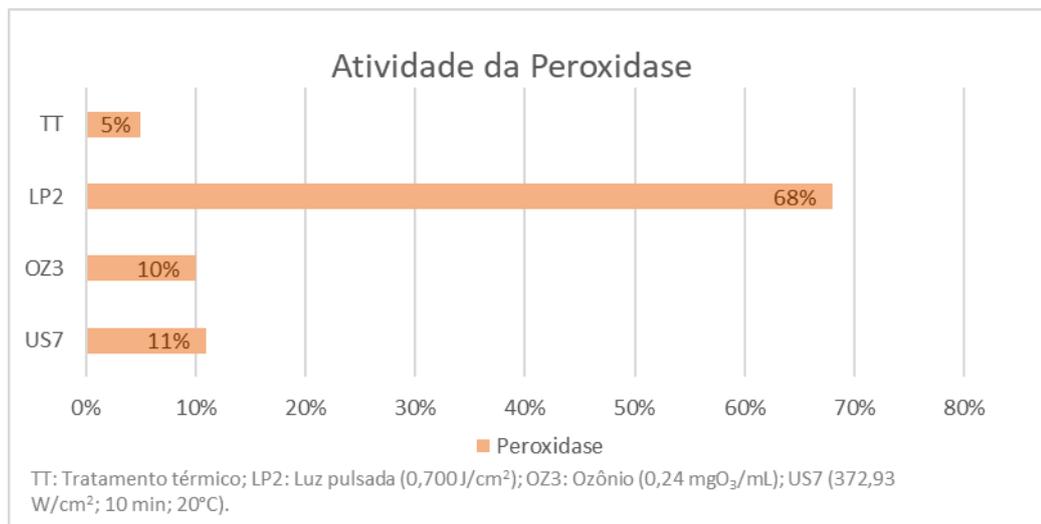


Gráfico 5 - Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para o índice de saturação (ΔC).

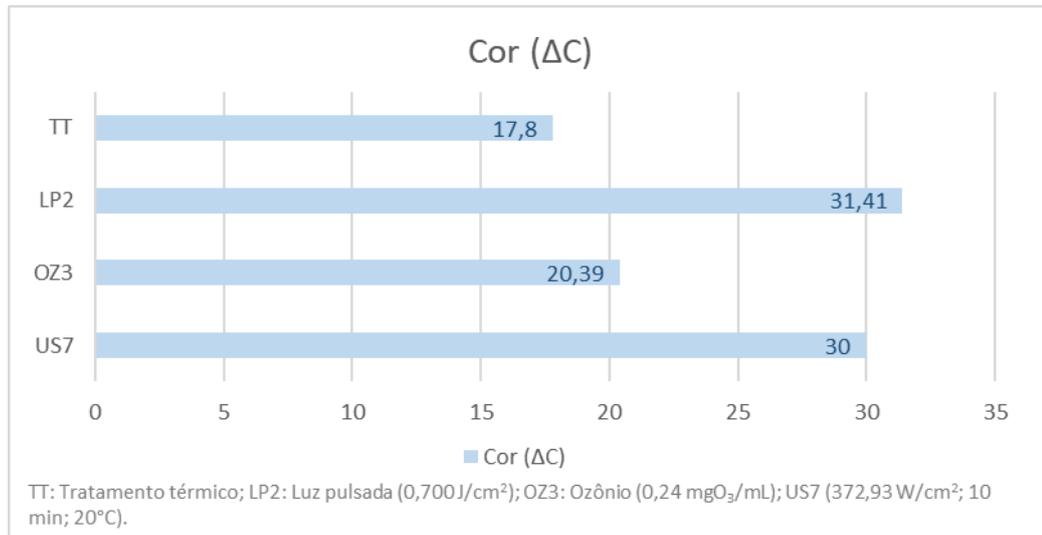
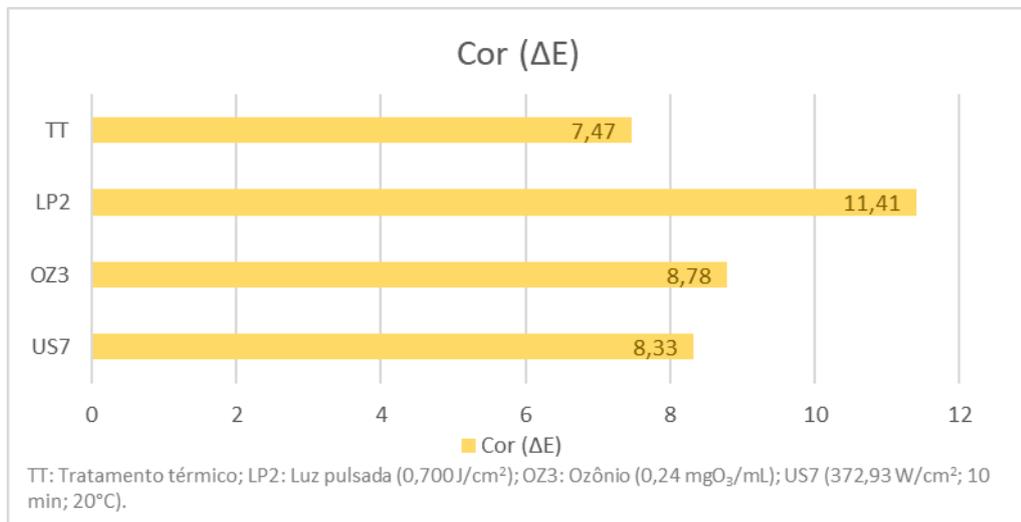


Gráfico 6- Resultados do tratamento térmico e dos melhores ensaios das tecnologias não-térmicas para a diferença total de cor (ΔE).



8 CONCLUSÃO

Concluiu-se que a aplicação de ultrassom aumentou a capacidade antioxidante do suco de caju em relação ao controle e ao tratamento térmico; apresentou efeito positivo sobre os flavonoides amarelos e conservou a vitamina C no suco. Foi verificado que a baixa intensidade $75,34 \text{ W/cm}^2$ o ultrassom possui maior poder oxidante, enquanto que a maiores intensidades possui maior poder de extração dos compostos bioativos e inativação da peroxidase (89%), onde o melhor processamento foi a $372,93 \text{ W/cm}^2$ por 10 min a 20°C (US7).

As três concentrações de ozônio utilizadas nesse trabalho, não apresentaram diferença significativa entre si para a atividade antioxidante. O tratamento com ozônio diminuiu a atividade antioxidante e os flavonoides amarelos do suco de caju em relação ao controle, mas obteve maior conservação desses parâmetros em relação ao tratamento térmico. A vitamina C do suco de caju foi afetada pela ozonização, com maior redução desse composto em relação ao tratamento térmico. O processamento OZ3 conseguiu diminuir 90% da atividade da peroxidase.

Todos os tratamentos de luz pulsada não diferiram ($p < 0,05$) entre si, segundo o DPPH e o FRAP. A luz pulsada aumentou a capacidade antioxidante em relação ao controle e ao tratamento térmico, onde o ensaio LP2 alcançou o maior saldo positivo e a maior inativação da peroxidase (32%). O LP1 foi o processamento que apresentou melhor resultado sobre os flavonoides amarelos. Todos os tratamentos conseguiram conservar a vitamina C no suco de caju.

O ultrassom, o ozônio e a luz pulsada apresentaram um efeito positivo sobre os parâmetros de cor do suco de caju, em comparação ao tratamento térmico. Mas os processamentos ultrassônicos e de luz pulsada apresentaram os melhores resultados, conseguindo aumentar significativamente a intensidade da cor nas amostras, podendo assim, torná-las mais atrativas ao consumidor.

9 PERSPECTIVAS FUTURAS

O ultrassom, o ozônio e a luz pulsada são processamentos potenciais de conservação a serem aplicados individualmente ou em combinação com outras tecnologias para o aumento da qualidade nutricional e sensorial dos sucos de frutas.

Os efeitos dessas três tecnologias não-térmicas ainda necessitam de mais estudos a respeito da sua ação sobre a inativação microbiológica e a qualidade sensorial dos produtos.

REFERÊNCIA

- ABID, M. *et al.* Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. **Ultrasonics Sonochemistry** v.20, n. 5, p. 1182–1187, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.02.010>>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- ABID, M. *et al.* Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 21, p. 984-990, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- ABREU, F. P. De *et al.* Cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) extract from by-product of juice processing: A focus on carotenoids. **Food Chemistry** v. 138, n. 1, p. 25–31, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.028>>. Acesso em: 30 ago. 2018.
- AGUILAR, K. *et al.* Ascorbic acid stability in fruit juices during thermosonication. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 37, p. 375–381, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.01.029>>. Acesso em: 01 set. 2018.
- ALI, A.; ONG, M. K.; FORNEY, C. F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. **Food Chemistry** v.142, p. 19-26, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- ALMEIDA, F. D. L. Emprego de Tecnologias Emergentes no processamento de suco de laranja adicionado de fruto- oligossacarídeo e suco prebiótico de Laranja Produzido Via Síntese Enzimática. Universidade Federal Do Ceará. Antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. **Food Chemistry** v.142, p. 19-26, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- ALVES FILHO, E. G. *et al.* Evaluation of thermal and non-thermal processing effect on non-prebiotic and prebiotic acerola juices using ¹H qNMR and GC–MS coupled to chemometrics. **Food Chemistry** v. 265, n. May, p. 23–31, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.038>>. Acesso em: 10 out. 2018
- ARORA, A.; SAIRAM, R.K.; SRIVASTAVA, G.C. Oxidative stress and antioxidative system in plants. **Current Science**, v.82, p.1221-1235, 2002.
- Associação brasileira das indústrias de refrigerantes e de bebidas não alcoólicas (ABIR).** O setor. Dados. Disponível em: <<https://abir.org.br/o-setor/dados/nectares/>>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- AUGUSTO, Luiz *et al.* **Sistema de Produção do Caju Aspectos econômicos da cultura do cajueiro.** p. 1-193, 2017. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 11 nov. 2018.
- AVALOS-LLANO, K. R.; MARTÍN-BELLOSO, O.; SOLIVA-FORTUNY, R. Effect of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut strawberries. **Food Chemistry** v. 264, n. May, p. 393-400, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.028>>.0925-5214. Acesso em: 25 out. 2018.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de Experimentos**, Campinas: Editora da UNICAMP, Brasil, 2002.

BELLARY, A. N. *et al.* Anthocyanin infused watermelon rind and its stability during storage. **Innovative Food Science & Emerging Technologies** v. 33, p. 554-562, 2016.

BENZIE, I.; STRAIN, J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry** v. 239, p. 70-76, 1996.

BEVILACQUA, A. *et al.* Nonthermal Technologies for Fruit and Vegetable Juices and Beverages: Overview and Advances. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** v. 17, n. 1, p. 2–62, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT -Food Science and Technology** v. 28, n.1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Leis, Decretos, etc. **Instrução Normativa nº 1, de 7 jan. 2000, do Ministério da Agricultura** [Aprova os Regulamentos Técnicos para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpas e sucos de frutas]. Diário Oficial da União, Brasília, n. 6, Seção I, p. 54-58, 2000.

BRITO, E. S. De *et al.* Determination of the flavonoid components of cashew apple (*Anacardium occidentale*) by LC-DAD-ESI/MS. **Food Chemistry** v. 105, n. 3, p. 1112-1118, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

CAMPOLI, S. S. *et al.* Ultrasound processing of guava juice: Effect on structure, physical properties and lycopene in vitro accessibility. **Food Chemistry** v. 268, n. April, p. 594-601, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 20 out. 2018.

CAO, X. *et al.* The inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in bayberry juice during thermal and ultrasound treatments. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** v. 45, n. June, p. 169–178, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.018>>. Acesso em: 20 out. 2018.

CATALDO, F. The action of ozone on polymers having conjugated and cross- or linearly conjugated unsaturation: chemistry and technological aspect. **Polymer Degradation and Stability**, v. 73, p. 511-520, 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 20 out. 2018.

CECÍLIA, M. *et al.* **Storage stability of cashew apple juice** v. 23, p. 106–109, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v23s0/19480.pdf>>. Acesso: 20 out. 2018.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 18, n. 4, p. 813–835, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 18 out. 2018.

CHOI, M. H.; KIM, G. H.; LEE, H. S. Effects of ascorbic acid retention on juice colour and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food**

Research International v.35, p.753-759, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

CHOI, M. R. *et al.* Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in apple juice with gaseous ozone. **Food Microbiology** v.32, p. 191-195, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

COSTA, M. C. O.; MAIA, G. A.; DE FIGUEIREDO, R. W. Storage stability of cashew apple juice. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v.23, p. 106-109, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v23s0/19480.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2018.

COSTA, T.; JORGE, N. Compostos Bioativos Benéficos Presentes em Castanhas e Nozes. **Ciência Biológica e da Saúde** v. 13, n. 3, p. 195-203, 2011.

DAMASCENO, L. F. *et al.* “Non- Enzymatic Browning in Clarified Cashew Apple Juice during Thermal Treatment: Kinetics and Process Control.” **Food Chemistry** v. 106, n.1, p. 172-79, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

DAS, I.; ARORA, A. Post-harvest processing technology for cashew apple – A review. **Journal of Food Engineering** v. 194, p. 87-98, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.011>>. Acesso em: 15 set. 2018.

DAVIES, M.J. Protein oxidation and peroxidation. Review article. **Biochemical Journal** v. 473, p. 805–825, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

DIXON, R. A.; PAIVA, N. L. **Stress-induced phenylpropanoid metabolism**. *The Plant Cell* v. 7, p. 1085-1097, 1995.

DUBROVIĆ, I. *et al.* Effect of high intensity ultrasound and pasteurization on anthocyanin content in strawberry juice. **Food Technology and Biotechnology** v. 49, p. 196-204, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2001.

FDA (2001). **Secondary direct food additives permitted in food for human consumption**. Rules and regulations, Federal Register (Vol. 66, no 123 Sec. 173.368 Ozone). Disponível em: <<http://www.accessdata.fda.gov/>> Acesso em: 25 nov. 2018.

FDA. (2015). **U.S. Food and Drug Administration**. CFR. Code of Federal Regulations Title 21. Disponível em: <<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=179.41>>. Acesso em 25 nov. 2018.

FERNANDES, F. A. N. *et al.* Ultrasound-Assisted Air-Drying of Apple (*Malus domestica* L.) and Its Effects on the Vitamin of the Dried Product. **Food Bioprocess Technol** v. 7, p. 1519, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

FERRARIO, M.; GUERRERO, S. Impact of a combined processing technology involving ultrasound and pulsed light on structural and physiological changes of *Saccharomyces*

cerevisiae KE 162 in apple juice. **Food Microbiology** v. 65, p. 83-94, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

FIGUEIREDO, R. W. De *et al.* Alterações químicas e físico-químicas no processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v. 27, n. 4, p. 878-882, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

FONSECA, C. R. *et al.* Degradation of Phenolic Compounds in Aqueous Sucrose Solutions by Ozonation. **Ozone: Science and Engineering** v. 39, n. 4, p. 255–263, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01919512.2017.1322486>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

FONSECA, K. Z. *et al.* **Perguntas mais frequentes sobre flavonoides**. Bahia: [s.n.], v. 25, p. .978, 2016. Disponível em: <<https://ufrb.edu.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

FONTELES, T. V. Desenvolvimento De Uma Nova Bebida Funcional Probiótica À Base De Suco De Melão Cantaloupe Sonificado. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

FONTELES, T. V. *et al.* Optimization of the Fermentation of Cantaloupe Juice by *Lactobacillus casei* NRRL B-442. **Food and Bioprocess Technology** v. 5, n. 7, p. 2819-2826, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

FUNDO, J. F. *et al.* Quality assessment of Cantaloupe melon juice under ozone processing. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** v. 47, n. April, p. 461-466 , 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.016>>. Acesso em: 10 out. 2018.

GÓMEZ-LÓPEZ, V. M. *et al.* Pulsed light for food decontamination: a review. **Trends in Food Science and Technology** v. 18, n. 9, p. 464–473, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

GOTTSCHALK, C.; LIBRA, J.A.; SAUPE, A. **Ozonation of Water and Wastewater**, 1st, Germany: Ed. Wiley-VCH, 2000.

HOFFMANN-RIBANI, R.; HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonols in fresh and processed Brazilian fruits. **Journal of Food Composition and Analysis** v. 22, n. 4, p. 263–268, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 22 out. 2018.

HUANG, G. *et al.* Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 37, p. 144–149, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.018>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

HWANG, H. J.; CHEIGH, C. I.; CHUNG, M. S. Relationship between optical properties of beverages and microbial inactivation by intense pulsed light. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** v.31, p.91-96, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro, p. 150, 2011.

JARAMILLO SÁNCHEZ, G. M. *et al.* Inactivation kinetics of peroxidase and polyphenol oxidase in peach juice treated with gaseous ozone. **International Journal of Food Science and Technology** v.53, n. 2, p. 347-355, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.13591>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

JIMÉNEZ-SÁNCHEZ C. *et al.* Review: alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. part 1: techniques and applications. critical reviews in food science and nutrition. **Crit Rev Food Sci Nutr** v. 57, p. 501, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

KAPTUROWSKA, A. U. *et al.* Studies on the lipolytic activity of sonicated enzymes from *Yarrowia lipolytica*. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 19, n. 1, p. 186-191, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 19 set. 2018.

KHANDPUR, P.; GOGATE, P. R. Understanding the effect of novel approaches based on ultrasound on sensory profile of orange juice. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 27, p. 87-95 , 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

KNORR, D. *et al.* Applications and potential of ultrasonics in food processing. **Trends in Food Science and Technology** v.15, p. 261-266, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

KOUTCHMA, T. Pulsed Light for Food and Beverages Preservation, Quality and Functionality. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** v.1, p.1-8, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22454-2>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

KWAW, E. *et al.* Impact of ultrasonication and pulsed light treatments on phenolics concentration and antioxidant activities of lactic-acid-fermented mulberry juice. **LWT - Food Science and Technology** v. 92, n. October, p. 61-66, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.016>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

LAMIKANRA, O. *et al.* Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processed Cantaloupe. **Journal Agriculture Food Chemical**, v.48, p.5955-5961, 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 14 out. 2018.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of Drying Temperature on the Stability of Polyphenols and Antioxidant Activity of Red Grape Pomace Peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 45, n. 4, p. 1390-1393, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 04 set. 2018.

LI, H. Z.; PORDESIMO, L.; WEISS, J. High Intensity Ultrasound – assisted extraction of oil from soybeans. **Food Research International**, v. 37, p. 731-738, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 14 out. 2018.

MELO, E. de A. *et al.* Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas** v. 44, n. 2, p. 193-201, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322008000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 07 ago. 2018.

MILLER, N. J. *et al.* A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. **Clinical Science** v.84, n. 4, p. 407-412, 1993. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 04 out. 2018.

MOO-HUCHIN, V. M. *et al.* Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. **Food Chemistry** v. 166, p. 17-22, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

MOO-HUCHIN, V. M. *et al.* Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. **Food Chemistry** v. 152, p. 508-515, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

NADEEM, M. *et al.* Effect of ultrasound and chemical treatment on total phenol, flavonoids and antioxidant properties on carrot-grape juice blend during storage. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 45, n. December, p. 1-6, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

NOVAK, J.S.; YUAN, J.T.C. The ozonation concept: advantages of ozone treatment and commercial developments. In: TEWARI, G.; JUNEJA, V.K. Advances in thermal and non-thermal food preservation. **Ames: Blackwell Publishing**, p.185-193, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

O'DONNELL, C. P. *et al.* Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. **Trends in Food Science & Technology** v. 21, n.7, p. 358-367, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

OLIVEIRA, A. F. A. *et al.* Non-thermal combined treatments in the processing of açai (*Euterpe oleracea*) juice. **Food Chemistry** v. 265, n. April, p. 57-63, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.081>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 18 set. 2018.

ORDÓÑEZ-SANTOS, L. E.; MARTÍNEZ-GIRÓN, J.; ARIAS-JARAMILLO, M. E. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. **Food Chemistry** v. 233, p. 96-100, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 06 out. 2018.

ORLOWSKA, M. *et al.* Continuous and Pulsed Ultraviolet Light for Nonthermal Treatment of Liquid Foods. Part 1: Effects on Quality of Fructose Solution, Apple Juice, and Milk. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 6, p. 1580-1592, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

PATARO, G. *et al.* Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow pulsed Light (PL) system. **Food Research International** v. 44, n.6, p. 1642-1648, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

PATIL, S. *et al.* Inactivation of Escherichia coli in orange juice using ozone. **Innovative Food Science & Emerging Technologies** v.10, n.4, p. 551–557, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2009.05.011>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

PUTNIK, P. *et al.* Comparing the effects of thermal and non-thermal technologies on pomegranate juice quality: A review. **Food Chemistry** v. 279, n. November, p. 150-161, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.131>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

QUEIROZ, C. *et al.* Changes in bioactive compounds and antioxidant capacity of fresh-cut cashew apple. **Food Research International** v. 44, n. 5, p. 1459-1462, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.021>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

RABELO, M.C. **Termoestabilidade De Enzimas Dos Sucos De Graviola E Caju**, Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Biologia Molecular) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

RAWSON, A. *et al.* Effect of thermosonication on bioactive compounds in watermelon juice. **Food Research International** v. 44, n. 5, p. 1168-1173, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

RAWSON, A. *et al.* Effect of thermosonication on bioactive compounds in watermelon juice, **Food Research International** v. 44, p. 1168-1173, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. S. **Física 2**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

ROCK C, G. S. *et al.* Enhanced antioxidant capacity of fresh blueberries by pulsed light treatment. **Food Research International** v.4, p. 89-97, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

RUFINO, M. do S. M. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry** v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

RUFINO, M. S.M. *et al.* Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH{radical dot}system. **Food Chemistry** v. 114, n. 2, p. 693-695, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

SAEEDUDDIN, M. *et al.* Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions. **LWT - Food Science and Technology** v. 64, n. 1, p. 452-458, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.005>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

SANCHO, De O.; MAIA, A.; FIGUEIREDO, W. De. Alterações químicas e físico-químicas no processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v. 27, n. 4, p. 878-882, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

SANTHIRASEGARAM, V.; RAZALI, Z.; SOMASUNDRAM, C. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. **Ultrasonics Sonochemistry** v.20, n. 5, p. 1276-1282, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SCHERER, R.; RYBKA, A. C. P.; GODOY, H. T. Determinação simultânea dos ácidos orgânicos tartárico, málico, ascórbico e cítrico em polpas de acerola, açaí e caju e avaliação da estabilidade em sucos de caju. **Quimica Nova** v. 31, n. 5, p. 1137-1140, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 08 set. 2018.

SCHUINA, G. L. **Efeito da sonicação e da termossonicação sobre mesófilos totais e bolores e leveduras em suco de laranja**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES, 2014.

SELIMOVIĆ, A.; SALKIĆ M. Direct Spectrophotometric Determination of L-Ascorbic acid in Pharmaceutical Preparations using Sodium Oxalate as a Stabilizer. **International Journal of Basic & Applied Sciences**, v. 11, n. 02, p. 106, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

SHISHIR, M. R. I. *et al.* Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. **Trends in Food Science and Technology** v. 78, n. December 2017, p. 34-60, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>>. Acesso em: 17 set. 2018.

SILVA, L. M. R. Da *et al.* Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry** v. 143, p. 398-404, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>>. Acesso em: 22 set. 2018.

SILVA, S. B. Da *et al.* Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias** v. 32, n. 2, p. 659-682, 2011.

SILVA, S. B. *et al.* Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 659-682, Londrina, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. **Trends in Food Science and Technology** v. 21, n. 7, p. 323–331, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

SOUSA GUEDES, J. P. De *et al.* The efficacy of *Mentha arvensis* L. and *M. piperita* L. essential oils in reducing pathogenic bacteria and maintaining quality characteristics in cashew, guava, mango, and pineapple juices. **International Journal of Food Microbiology** v. 238, p. 183–192, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.005>>. Acesso em: 25 set. 2018.

SOUZA, J. F. **Utilização de Luz Ultravioleta Contínua (Uv-C) e Luz Pulsada para conservação de mangas Cv. Tommy Atkins minimamente processadas**. Tese (Doutorado Agronomia, Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, p. 116, 2014.

TIWARI, B. K. *et al.* Anthocyanin and colour degradation in ozone treated blackberry juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** v. 10, n. 1, p. 70-75, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2008.08.002>>. Acesso em: 21 out. 2018.

TIWARI, B. K. *et al.* Modelling colour degradation of orange juice by ozone treatment using response surface methodology. **Journal of Food Engineering** v. 88, p. 553-560, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

VALDÉS, F. **Vitamina C**. *Actas Dermo-Sifiliograficas* v. 97, n. 9, p. 557-568, 2006.

VILKHU, K. *et al.* Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry—A review. **Technologies** v. 9, n. 2, p. 161-169, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

WANG, B. *et al.* Effect of pulsed light on activity and structural changes of horseradish peroxidase. **Food Chemistry** v. 234, p. 20–25, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.149>>. Acesso em: 12 set. 2018.

WANG, J. *et al.* Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. **Food Control** v. 96, n. September 2018, p. 128-136, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

WISSEMANN, K. W.; LEE, C. Y. Polyphenoloxidase activity during grape maturation and wine production. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.31, p. 206- 211, 1980.

YONG, H. *et al.* Pathogen inactivation and quality changes in sliced cheddar cheese treated using flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma. **Food Research International** v. 69, p. 57-63, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.008>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

YORUK, R.; MARSHALL, M. R. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: A review. **Journal of Food Biochemistry**, v. 27, p. 361–422, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 05 set. 2018.