



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE DOUTORADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**VALÉRIA SANTOS DE OLIVEIRA**

**EFEITO DO ULTRASSOM E PLASMA A FRIO NAS PROPRIEDADES DO SUCO  
DE ACEROLA**

**FORTALEZA**

**2017**

VALÉRIA SANTOS DE OLIVEIRA

EFEITO DO ULTRASSOM E PLASMA A FRIO NAS PROPRIEDADES DO SUCO DE  
ACEROLA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Doutor em Engenharia Química. Área de concentração: Análise e Desenvolvimento de Processos.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes

Coorientadora: Prof. Dra. Sueli Rodrigues

FORTALEZA

2017

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)

---

- O52e Oliveira, Valéria Santos de Oliveira.  
Efeito do ultrassom e plasma a frio nas propriedades do suco de acerola / Valéria Santos de Oliveira Oliveira. – 2017.  
148 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes.  
Coorientação: Prof. Dr. Sueli Rodrigues.
1. Suco de Acerola. 2. Frutoligossacarídeo. 3. Ultrassom. 4. Plasma a frio. I. Título.

CDD 660

---

VALÉRIA SANTOS DE OLIVEIRA

EFEITO DO ULTRASSOM E PLASMA A FRIO NAS PROPRIEDADES DO SUCO DE  
ACEROLA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Doutor em Engenharia Química. Área de concentração: Análise e Desenvolvimento de Processos.

Aprovada em: 14/11/2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. André Casimiro de Macedo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Edy Sousa de Brito  
EMBRAPA

---

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

---

Profa. Dra. Kaliana Sitonio Eça  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

*A Deus.*

*Aos meus pais, ao meu esposo e ao Luca.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela sua infinita misericórdia por ter me proporcionado saúde e sabedoria para ter chegado até aqui. Porque Dele e por Ele são todas as coisas.

A minha mãe, minha melhor amiga e companheira de todas as horas, por sua infinda dedicação aos meus estudos, em sempre acreditar em mim e lembrar que este sonho era possível.

Ao meu esposo, por termos caminhado juntos e pelo seu apoio com muito amor em todo decorrer dessa jornada.

Ao Luca, meu filho, por ter sido uma das maiores surpresas deste doutorado.

Ao meu amigo Tiago por sempre chegar junto nas horas mais atribuladas.

Ao meu orientador e a sua esposa pela oportunidade de trabalharmos juntos, pela amizade, pelos conhecimentos compartilhados, pela atenção e dedicação que só tenho a agradecer pela confiança e por sempre estenderem suas mãos nas horas de dificuldades.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

"Porque Dele e por Ele são todas as coisas"

## RESUMO

Recentemente novas tecnologias têm sido desenvolvidas para a indústria de alimentos a fim de que o seu processamento seja seguro e com o foco na manutenção das suas propriedades nutritivas. O objetivo desse trabalho foi o estudo da influência do processamento ultrassônico nos aspectos físicos ( pH, °Brix, cor, valor de nuvem), químicos (compostos fenólicos, capacidade antioxidante DPPH, FRAP e ABTS, peróxido de hidrogênio, vitaminas do complexo B, vitamina C, vitaminas A e E, pró vitamina D, licopeno e carotenoides) e bioquímicos (enzimas POD e PAX) do suco de acerola e suco de acerola prebiótico que foram submetidos ao tratamento ultrassônico em temperaturas de 10, 23 e 40°C nas densidades de potências de 500, 1500 e 2500 W/L nos tempos variando de 2,5 a 15 minutos e no tratamento com plasma a frio nos aspectos físicos e químicos do suco de acerola e do suco de acerola prebiótico com fluxos variando de 10, 15 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min, e potência máxima de 80 kV em períodos de 10, 15 e 20 minutos. Ao fim do processamento foi verificado que no tratamento ultrassônico, os parâmetros melhores apresentados para o suco de acerola estudado foi o valor de nuvem, a capacidade antioxidante pelos três métodos estudados (DPPH, ABTS e FRAP), atividade enzimática, vitamina C e carotenoides totais. A concentração de peróxido de hidrogênio apresentou aumento de concentração ao longo do experimento, já esperado pelo tratamento ultrassônico. Apesar de ter verificado uma degradação de vitaminas B3 e B5 no suco de acerola sonificado, quando se adicionou o frutoligossacarídeo, este protegeu a matriz do suco e promoveu o aumento da concentração das vitaminas do complexo B ao final do experimento. Os resultados para o processamento em plasma a frio, mostraram-se bastante satisfatórios. Praticamente todos os parâmetros estudados aumentaram após o processamento, com exceção apenas dos compostos fenólicos e capacidade antioxidante, mas após a adição do frutoligossacarídeo este teve poder protetivo e evitou sua perda ao longo do processamento. Outro parâmetro interessante que ocorreu no tratamento com plasma a frio foi a diminuição da quantidade da concentração de peróxido de hidrogênio, evitando assim perdas nutritivas futuras deste suco.

**Palavras-chave:** Suco de acerola; Frutoligossacarídeo; Ultrassom; Plasma frio.



## ABSTRACT

Recently, new technologies have been developed by the food industry in order to achieve safe processing and focusing on maintaining their nutritional properties. In this manner, the objective of this work was to study the influence of an ultrasonic process on the physical (pH, °Brix, color, cloud value), chemical (phenolic compounds, DPPH antioxidant capacity, FRAP and ABTS, hydrogen peroxide, complex vitamins B, vitamin C, vitamins A and E, pro vitamin D, lycopene and carotenoids) and biochemical (POD and PAX enzymes) properties of acerola juice and prebiotic acerola juice submitted to ultrasonic treatment under temperatures of 10, 23 and 40°C, in powers of 500, 1500 e 2500 W/L and in times varying from 2.5 to 15 minutes. Regarding the treatment with cold plasma, it was assessed physical and chemical aspects in acerola juice and prebiotic acerola juice, under fluxes ranging from 10, 15 and 20 mL of N<sub>2</sub>/min, and maximum power of 80 kV in periods of 10, 15 and 20 minutes. At the end of the processing, the best parameters presented for the acerola juice studied were the cloud value, the antioxidant capacity of the three methods studied (DPPH, ABTS and FRAP), enzymatic activity, vitamin C and total carotenoids. The concentration of hydrogen peroxide presented increased throughout the experiment, already expected in ultrasonic treatment. Despite the degradation of vitamins B3 and B5 in the sonicated acerola juice, the addition of frutoligosaccharide protected the juice matrix and increased the concentration of the vitamins B at the end of the experiment. Summarizing, the ultrasonic treatment for acerola juice was well tolerated for the parameters presented, mainly by the increasing the ascorbic acid concentration and total antioxidant capacity throughout the experiment. The results for the cold plasma processing were very satisfactory. Virtually all parameters studied increased after processing, with the exception of phenolic compounds and antioxidant capacity. However, the addition of the frutoligosaccharide acted as a protective agent and prevented losses during processing. Another interesting observation in the treatment with cold plasma was the decrease of the amount of hydrogen peroxide concentration, thus avoiding future nutritional losses of this juice.

**Keywords:** Acerola juice; Frutoligosaccharide; Ultrasound; Cold plasma;

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1	Fundamentos básicos da tecnologia ultrassônica .....	15
2.2	Fundamentos básicos da tecnologia de plasma .....	17
2.3	Fundamentos: vitaminas, carotenoides e antioxidantes .....	18
2.3.1	<i>Vitaminas</i> .....	18
2.3.1.1	<i>Vitamina B1</i> .....	20
2.3.1.2	<i>Vitamina B2</i> .....	21
2.3.1.3	<i>Vitamina B3</i> .....	22
2.3.1.4	<i>Vitamina B5</i> .....	24
2.3.1.5	<i>Vitamina B6</i> .....	26
2.3.1.6	<i>Vitamina C</i> .....	26
2.3.1.7	<i>Vitamina A</i> .....	28
2.3.1.8	<i>Vitamina E</i> .....	29
2.3.2	<i>Carotenoides totais e beta caroteno</i> .....	30
2.3.3	<i>Compostos fenólicos</i> .....	31
2.4	Aplicação do ultrassom e plasma a frio em sucos .....	32
2.5	Acerola e suas propriedades .....	35
	REFERÊNCIAS .....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	46
3.1	Polpa de acerola .....	46
3.1.1	<i>Frutoligossacarídeo</i> .....	46
3.2	Método analítico .....	46
3.2.1	<i>Vitaminas do complexo B</i> .....	46
3.2.2	<i>Vitaminas A, D, E e carotenoides totais</i> .....	47
3.2.3	<i>Vitamina C</i> .....	47
3.2.4	<i>Compostos Fenólicos</i> .....	47
3.2.5	<i>Capacidade antioxidante por DPPH, ABTS e FRAP</i> .....	47
3.2.6	<i>Concentração de peróxido de hidrogênio</i> .....	48
3.2.7	<i>pH</i> .....	48
3.2.8	<i>Sólidos solúveis totais (°Brix)</i> .....	48
3.2.9	<i>Cor</i> .....	49
3.2.10	<i>Valor de nuvem</i> .....	49
3.2.11	<i>Atividade Enzimática POD e PAX</i> .....	49
	REFERÊNCIAS .....	50
4	EFEITO DO PROCESSAMENTO ULTRASSÔNICO NO SUCO DE ACEROLA E SUCO DE ACEROLA PREBIÓTICO .....	51
4.1	Processamento do suco de acerola em ultrassom .....	51
4.2	Resultados e discussão .....	51
4.2.1	<i>Vitaminas B1 e B2</i> .....	51
4.2.2	<i>Vitamina B3</i> .....	55
4.2.3	<i>Vitamina B5</i> .....	59
4.2.4	<i>Vitamina A</i> .....	59
4.2.5	<i>Pró-vitamina D</i> .....	63
4.2.6	<i>Vitamina E</i> .....	65
4.2.7	<i>Carotenoides totais</i> .....	67
4.2.8	<i>Vitamina C</i> .....	70
4.2.9	<i>Compostos fenólicos</i> .....	72

4.2.10	<i>Capacidade antioxidante por DPPH, ABTS E FRAP</i> .....	75
4.2.10.1	<i>Capacidade antioxidante por DPPH</i> .....	76
4.2.10.2	<i>Capacidade antioxidante por ABTS</i> .....	78
4.2.10.3	<i>Capacidade antioxidante por FRAP</i> .....	81
4.2.11	<i>Peróxido De Hidrogênio</i> .....	83
4.2.12	<i>pH</i> .....	84
4.2.13	<i>Sólidos Solúveis Totais (°BRIX)</i> .....	86
4.2.14	<i>Cor</i> .....	88
4.2.15	<i>Atividade Enzimática POD e PAX</i> .....	93
4.2.15.1	<i>Atividade enzimática da POD</i> .....	93
4.2.15.2	<i>Atividade enzimática da PAX</i> .....	94
4.2.16	<i>Valor de nuvem</i> .....	95
4.3	<i>Conclusão</i> .....	99
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	101
5	<b>EFEITO DO PLASMA FRIO EM SUCO DE ACEROLA E SUCO DE ACEROLA PREBIÓTICO</b> .....	106
5.1	<b>Processamento do suco de acerola em plasma a frio</b> .....	106
5.2	<b>Resultados e discussão</b> .....	106
5.2.1	<i>Vitamina A</i> .....	106
5.2.2	<i>Carotenoides totais e <math>\beta</math>-caroteno</i> .....	108
5.2.3	<i>Licopeno</i> .....	111
5.2.4	<i>Vitamina C</i> .....	113
5.2.5	<i>Fenólicos totais</i> .....	115
5.2.6	<i>Capacidade antioxidante por DPPH</i> .....	117
5.2.7	<i>Peróxido de hidrogênio</i> .....	118
5.2.8	<i>Cor</i> .....	120
5.3	<i>Conclusão</i> .....	122
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	124
6	<b>CONCLUSÃO GERAL</b> ..	127
	<b>APÊNDICE 1. DADOS EXPERIMENTAIS RELATIVOS AO SUCO DE ACEROLA SUBMETIDO AO TRATAMENTO ULTRASSÔNICO</b> .....	128
	<b>APÊNDICE 2. DADOS EXPERIMENTAIS RELATIVOS AO SUCO DE ACEROLA SUBMETIDO AO TRATAMENTO COM PLASMA A FRIO</b> .....	147

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de processamento de alimentos está em constante evolução e a tecnologia tem desempenhado um papel cada vez mais importante neste ramo. Os estudos atrelados aos avanços científicos permitem hoje produzir alimentos que se adaptam melhor à procura de consumidores cada vez mais exigentes de uma forma segura, com processos produtivos mais sustentáveis e eficientes, e assim, satisfazendo também a demanda de lucros das indústrias. A preferência por produtos de qualidade tem estimulado o desenvolvimento de novas tecnologias de conservação que causem efeitos mínimos nos alimentos.

Novos processos estão sendo avaliados visando a utilização de técnicas modernas e elaboração de diferentes produtos. A crescente demanda do mercado consumidor por produtos de alta qualidade revela a necessidade da utilização de novas tecnologias de conservação que propiciem segurança microbiológica na produção, aumentando a validade comercial, e que ainda proporcionem mínimas alterações bioquímicas, promovendo a manutenção da qualidade nutricional e sensorial dos alimentos.

Os processos não térmicos vêm ganhando importância como tecnologia eficiente para substituir ou complementar os tratamentos térmicos tradicionais. Comparados com os processos térmicos, os processos não térmicos oferecem as vantagens de baixa temperatura de processamento, baixa utilização de energia e a retenção de nutrientes e de sabor semelhante ao produto fresco, enquanto reduz e elimina a quantidade de esporos de microorganismos e inativa enzimas (VEGA-MERCADO et al., 1997).

O processamento de sucos de frutas tem mostrado um desafio para as indústrias, por possuírem uma gama de nutrientes sensíveis, degradam-se facilmente quando submetidos a processamentos térmicos que muitas vezes utilizam o calor como parte do processo.

Nas frutas, os carotenóides, juntamente com as vitaminas, são as substâncias mais investigadas como agentes quimio-preventivos, funcionando como antioxidantes em sistemas biológicos (POOL-ZOBEL et al., 1997). Alimentos com teores elevados do carotenoide licopeno e vitamina E tem comprovada atividade contra alguns tipos de doenças, pelo forte caráter antioxidante destes compostos. Uma preocupação com a saúde vem acarretando um aumento na busca de alimentos funcionais pelos consumidores, não só como uma fonte de nutrientes, mas também pelas propriedades benéficas que estes oferecem ao organismo. Uma das estratégias para a produção de alimentos funcionais é a adição de um composto bioativo em um alimento convencional, levando-se em conta a estabilidade ao processamento e a sua

biodisponibilidade (AMIGO-BENAVENT et al., 2013). O processamento de alimentos pode alterar o conteúdo, a biodisponibilidade e a atividade dos compostos bioativos dos alimentos (MAIA, et al., 2007), porém é necessário avaliar se essa alteração está ocasionando uma perda de compostos importantes ou se está tornando estes compostos mais biodisponíveis. Estudos apontam um aumento em compostos com efeito antioxidante após o alimento ser processado (CHANG et al., 2006).

No processamento de sucos, a tecnologia ultrassônica é relatada por ter um efeito mínimo sobre a degradação dos parâmetros de qualidade, como cor, conteúdo de ácido ascórbico e antocianinas em alguns sucos de frutas estudados como o de amora preta e morango. Outros estudos indicam que o processamento com ultrassom aumenta a extração de fenólicos e outros compostos bioativos no mosto de uvas ou de vinho, e que a extração de compostos bioativos e antocianinas assistida por ultrassom melhora a extração e produção de compostos bioativos entre 6% e 35% (TIWARI et al., 2010).

Outra tecnologia emergente não térmica de processamento de alimentos que podemos citar é a aplicação de plasma a frio. Recentemente pesquisas demonstraram que esta tecnologia tem sido uma ferramenta promissora para a pasteurização de alimentos. A crescente demanda por produtos frescos coloca o desafio da indústria para fornecer alimentos seguros com o mínimo de processamento. Como resultado, há muito interesse em novas formas de conservação de alimentos e a destruição de microorganismos, sem afetar a sua qualidade.

O objeto de estudo para esta tese de doutorado foi o suco de acerola e suco de acerola prebiótico. A acerola (*Malpighia puniceifolia* L.), fruta originária de regiões tropicais da América Latina, apresenta boa inserção e aceitação no mercado internacional devido às altas concentrações de vitamina C (em torno de 800mg.100g<sup>-1</sup> de fruto maduro), este elevado teor de nutriente presente na polpa do fruto da acerola lhe confere possibilidades de industrialização e armazenamento com a manutenção de valores nutricionais elevados (GOMES et al., 2004). O suco de acerola é rico em outros nutrientes como carotenóides, tiamina, riboflavina e niacina (YAMASHITA et al., 2003) sendo bastante apreciável para a indústria de alimentos.

Os processamentos térmicos são muito conhecidos, como também suas inúmeras desvantagens sobre os produtos processados, como destruição de moléculas bioativas. Por conta disso, foi procurado processos não térmicos a fim de preservar essas moléculas bioativas presentes. No caso dessas duas tecnologias, ultrassom e plasma, já existem estudos diversos mostrando que essas tecnologias aumentam a vida de prateleira, como também agem com efeito de pasteurização sobre os produtos. Por isso não repetimos esses mesmos ensaios por conta de já existir estudos sobre isso.

Neste trabalho também se observou se foi possível a incorporação do frutoligossacarídeo, se houve interação desse composto com as vitaminas e outros componentes e se foi possível fazer o processamento por ultrassom e plasma.

Este trabalho teve como objetivos principais o estudo da aplicação das tecnologias ultrassônica e de plasma frio no suco de acerola e suco de acerola prebiótico afim de investigarmos a manutenção da qualidade ao longo dos processamentos aplicados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Fundamentos básicos da tecnologia ultrassônica

Ultrassom é definido como ondas de som com frequência que excede o limite de audição do ouvido humano (~ 20 kHz). Alguns animais utilizam a frequência de ondas de som para navegação (golfinhos) ou caça (morcegos).

O ultrassom é classificado como uma tecnologia emergente a qual foi desenvolvida para maximizar a qualidade e garantir a segurança dos produtos alimentares. O processamento por ultrassom é aplicado afim de conferir efeitos positivos no processamento de alimentos tais como a melhoria na transferência de massa, conservação de alimentos, auxiliares de processos que envolvam tratamentos térmicos e análise de textura (KNORR et al., 2011).

O equipamento de ultrassom tem geralmente frequências de 20 kHz a 10 MHz (LÓPEZ-MALO et al., 2005). A aplicação de ultrassom na indústria de alimentos consiste em baixa e alta energia de ultrassom. O ultrassom de baixa energia tem intensidades de menos de  $1 \text{ W cm}^{-2}$  e frequências superiores a 100 kHz. Ele pode ser utilizado em "não destrutiva" medições e monitoramento da composição físico-químicas e propriedades dos alimentos durante processamento analítico e de armazenamento para fins de controle de qualidade, tais como aqueles na detecção de adulteração mel (ALISSANDRAKIS et al., 2010), o dimensionamento das partículas (LEFEBVRE et al., 2013) e a estabilidade da emulsão (KACI et al., 2014). Ultrassom de alta energia, que também é conhecido como o ultrassom de energia tem intensidades mais elevadas do que  $1 \text{ W cm}^{-2}$  e gama de frequências de 20 a 100 kHz.

O ultrassom é útil em aplicações invasivas, preservação e segurança, como a homogeneização do leite (BOSILJKOV et al., 2009), melhoria de rendimento do suco (LIEU E LE, 2010) e de inativação microbiana (GAO et al., 2014; WU et al., 2008; WALKLING-RIBEIRO et al., 2009) ou aplicação direta aos sucos de frutas, utilizando ultrassons de sonda (VALDRAMIDIS et al., 2010; RAWSON et al., 2011; SIMUNEK et al., 2013).

O ultrassom de alta-frequência e alta potência ( $10$  a  $1000 \text{ W cm}^{-2}$ ) tem seu emprego em limpeza de superfícies, melhoria na retirada de água de produtos, secagem e filtração, inativação de microrganismos e enzimas, lise de células, degasagem de líquidos, reações de oxidação, entre vários outros processos com aplicações atuais e futuras na indústria de alimentos (FDA, 2005; FLOROS e LIANG, 1994; MC CLEMENTS, 1995).

Em líquidos expostos a ondas ultrassônicas de baixa frequência (< 1MHz) ocorre o efeito de cavitação, que é o processo de nucleação, crescimento e colapso de bolhas transitórias. Estas ondas se propagam em ciclos alternados de compressão e expansão e, com pressão

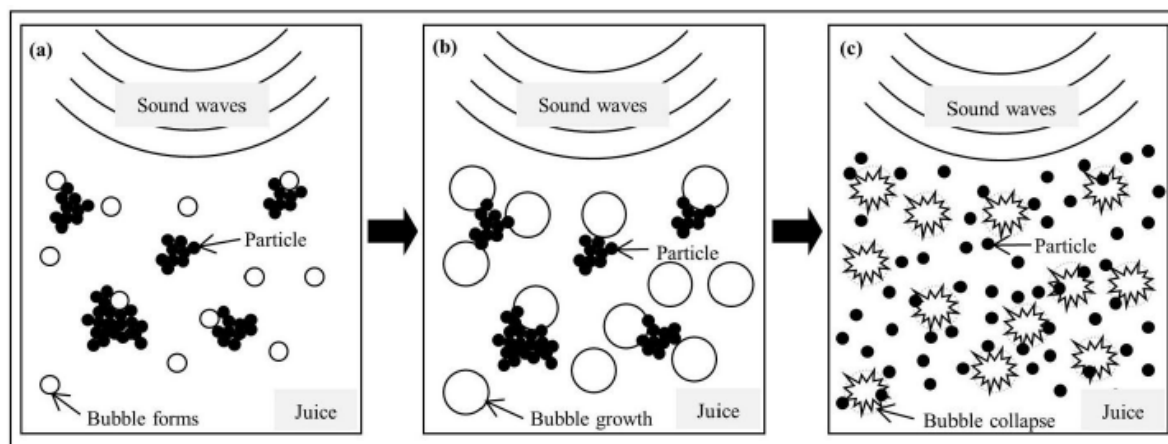
suficientemente alta, vencem as forças intermoleculares num ponto do líquido, criando uma cavidade para onde se difundem, durante a fase de expansão, os gases e os vapores do líquido. Na fase de compressão, os gases e os vapores que não retornaram ao líquido aumentam a cavidade durante os ciclos seguintes de compressão e expansão até seu tamanho crítico, entrando em violento colapso e conseqüente liberação de grande quantidade de energia. (BORGES e KORN, 2002; FDA, 2005).

De acordo com Lopez-Malo, Guerrero e Alzamora (1999) o processamento ultrassônico, também denominado sonicação, é uma tecnologia não térmica que tem se mostrado eficaz na inativação de micro-organismos e enzimas (LÓPEZ et al., 1994; LÓPEZ e BURGOS, 1995; VILLAMIEL e DE JONG, 2000), permitindo dessa maneira, o tratamento de alimentos termossensíveis (HUNTER et al., 2008).

A Figura 2.1 ilustra a formação, crescimento e colapso das bolhas de cavitação durante um fenômeno. As bolhas de gás são produzidas em meio líquido por ondas de ultrassons antes do fenômeno de cavitação acústica, que é a interação entre as ondas ultrassônicas, líquido e gasoso dissolvido quando o ultrassom passa através de um meio líquido. As alterações de pressão em torno dos núcleos de gases dissolvidos conduzem a oscilações, onde o gás e vapor de solvente dissolvido dispersa para fora das bolhas oscilantes. A quantidade de gás e de vapor que entram nas bolhas durante este período de expansão vai para além da quantidade que se difunde para fora das bolhas durante a fase de compressão das oscilações de bolhas.

As bolhas em seguida crescem em ciclos sucessivos de um tamanho instável, explosão na fase da compressão e liberação e de muito alto calor e pressão em torno das bolhas em colapso para quebrar os compostos em que o líquido e dar efeito de esterilização localizada. Neste ponto, a dispersão das partículas e a desagregação de células ocorrem.





**Figura 2.1** Fenômeno de cavitação. (a) formação de bolhas no suco por ondas sonoras; (b) crescimento das bolhas ao tamanho máximo e (c) o colapso das bolhas, e dispersão de partículas e ocorrência de ruptura celular.

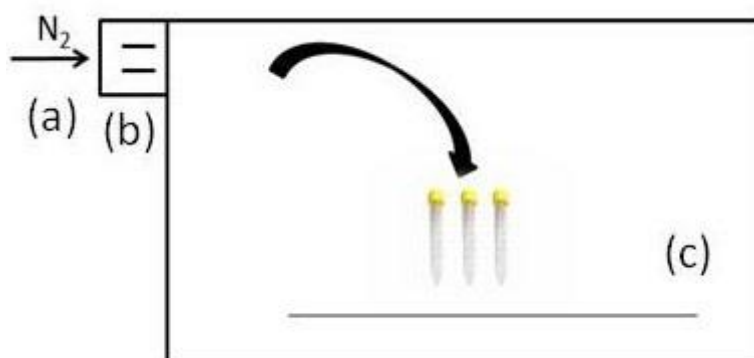
## 2.2 Fundamentos básicos da tecnologia de plasma

Plasma é um gás ionizado que pode ser produzido a partir da aplicação de uma descarga elétrica a um gás inicialmente neutro. O processo pode ocorrer à temperatura ambiente e pressão atmosférica, com um fluxo brilhoso composto de espécies químicas com características antimicrobianas e bastante reativas: fótons UV, partículas carregadas, superóxido, radicais hidroxila, óxido nítrico e ozônio (BERMÚDEZ-AGUIRRE et al., 2013).

Esta tecnologia apresenta numerosas vantagens sobre os métodos convencionais, uma vez que apresenta custos operacionais de processo reduzido, utiliza tempo de tratamento reduzido a baixas temperaturas, apresenta natureza não tóxica e é aplicado a uma grande variedade de produtos (ZIUZINA et al., 2013).

A aplicação do tratamento por plasma envolve duas abordagens distintas quanto ao tipo de exposição aos quais os produtos são submetidos, sendo estas denominadas de exposição direta e indireta. Em tratamento direto, a amostra fica entre os dois eletrodos, em contato direto com o plasma, enquanto que, por outro lado, na exposição indireta (Figura 2.2), a amostra é colocada a uma distância adjacente da descarga de plasma e só é exposta às espécies reativas formadas (FERNÁNDEZ e THOMPSON 2012).

Diversos estudos têm reportado sobre a aplicação da tecnologia de plasma a frio na conservação de alimentos, por meio da inativação de microorganismos e, estes estudos têm mostrado resultados efetivos em sua inativação (FERNÁNDEZ et al., 2013; MISRA et al., 2015; PATIL et al., 2014).



**Figura 2.2** Esquema básico da exposição indireta do plasma a frio. (a) nitrogênio gasoso; (b) câmara de obtenção do plasma; (c) amostras expostas ao plasma;

## 2.3 Fundamentos: vitaminas, carotenoides e antioxidantes

### 2.3.1 Vitaminas

De acordo com Paixão e Stamford (2004), as vitaminas são micronutrientes essenciais que contribuem para o crescimento normal e a manutenção da saúde, devendo ser ingerido em quantidades suficientes para suprir as necessidades do organismo. Vitaminas também podem ser descritas como substâncias orgânicas presentes em muitos alimentos em pequenas quantidades e indispensáveis ao funcionamento do organismo, na forma de co-fatores. Sua ausência sistemática na dieta resulta, quase sempre, em crescimento e desenvolvimento deficientes e outras perturbações orgânicas, configurando-se um quadro sintomatológico característico de carência. Independentemente dos fatores do ambiente, a maioria dos organismos animais é incapaz de sintetizá-las por via anabólica, razão pela qual precisam ser incluídas nas dietas; em geral, são necessárias em micro quantidades e em função da idade, sexo, estado fisiológico e atividade física do indivíduo.

Possuem composição química e funções biológicas diversas, sendo necessárias para a síntese de cofatores essenciais e para diversas e variadas reações metabólicas controladas por enzimas e coenzimas, algumas das quais possuem uma vitamina como grupo ativo e um componente prostético como veículo. São agentes essenciais ativos para manutenção das funções biológicas, podendo ocorrer na natureza como tal ou sob forma de precursores, as provitaminas (FRANCO, 1992). As vitaminas podem ser classificadas de acordo com sua solubilidade em 2 grupos: vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) e vitaminas hidrossolúveis (vitamina C e as do complexo B) (FRANCO, 1992). Essa simples classificação reflete algumas funções das vitaminas, assim como a solubilidade afeta sua distribuição natural nos tecidos e

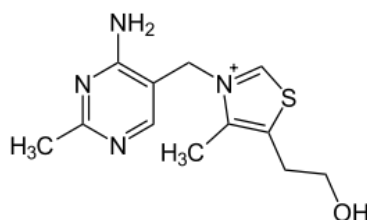
seu papel fisiológico (BALL, 1994). A Tabela 2.1 mostra os dois grupos de vitaminas com suas principais funções.

**Tabela 2.1** Vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis com suas principais formas ativas e principais funções.

Vitaminas	Forma Ativa	Função
<b>Lipossolúveis</b>		
Vitamina A	retinol e ácido retinóico	ciclo visual e integridade epitelial
Vitamina D	1,25 diidroxicolecalciferol	regulação metabolismo do Ca, Mg e P
Vitamina E	<i>a</i> , <i>r</i> , <i>o</i> e <i>p</i> -tocoferol	proteção contra oxidação dos lipídeos de membranas, fertilidade e gestação
Vitamina K	2 metil-1,4 naftoquinona	cofator em reações de carboxilação, ativa em vários fatores sanguíneos
<b>Hidrossolúveis</b>		
Vitamina C (ácido ascórbico)	ácido L-ascórbico	cofator em reações de hidroxilação, antioxidante, metabolismo mineral
Vitamina B1 (tiamina)	tiamina-pirofosfato	metabolismo de carboidratos e de aminoácidos, sistema nervoso
Vitamina B2 (riboflavina)	flavinamononucleotídeo, flavina-adeninad nucleotídeo	reações de óxido-redução
Vitamina PP (niacina)	nicotinamida-adeninad nucleotídeo, nicotinamida-adeninad nucleotídeo-fosfato	reações de óxido-redução, redução da hiperlipidemia
Vitamina B6 (piridoxina)	piridoxal-fosfato, piridoxamina, piridoxina, piridoxal	transferência de grupos amino, resposta imune, formação de niacina
Vitamina B12 (cobalamina)	desoxiadenosil cobalamina	metabolismo dos ácidos graxos e aminoácidos
Ácido pantotênico	coenzima A	transferência de grupos acila no metabolismo dos macronutrientes
Biotina	Biocitina	transferência de CO <sub>2</sub> no ciclo de Krebs
Ácido Fólico	ácido tetraidrofólico	transferência de unidades monocarbônicas, formação dos eritrócitos

### 2.3.1.1 Vitamina B1

A tiamina, também conhecida como vitamina B1 (Figura 2.3), foi a primeira das vitaminas hidrossolúveis a ser descoberta no início do século XX. A sua deficiência no organismo é responsável pelo aparecimento do beribéri (desordens do sistema nervoso), o que levou, em 1885, a Marinha Japonesa a aumentar o consumo de carne e vegetais na dieta da tripulação, uma vez que a doença era prevalente no século XIX (BALL, 2004). A B1 é uma das vitaminas do complexo B mais sensíveis à temperatura, levando a grandes perdas durante o processamento térmico dos alimentos (BALL, 2004).



**Figura 2.3** Estrutura geral da Tiamina

Esta vitamina é igualmente instável em soluções neutras e à exposição ao ar (DIÉGUEZ, 2000).

Existe um grande número de dados publicados comprovando a estabilidade da tiamina nos alimentos. Estudos apontam perdas favorecidas de tiamina quando: (1) as condições favorecem a lixiviação de vitaminas no meio aquoso que a envolve; (2) o pH é aproximadamente neutro ou maior; (3) ocorre exposição a um agente sulfitante. As perdas de tiamina também podem ocorrer em alimentos completamente hidratados, durante o armazenamento em temperaturas moderadas, embora as taxas previstas como baixas, em comparação as observadas durante o tratamento térmico (DAMADORAN, 2010).

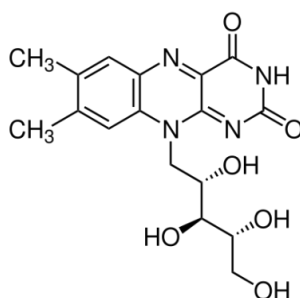
A tiamina apresenta excelente estabilidade em condições de baixa atividade de água à temperatura ambiente. Outros componentes alimentares podem influenciar na degradação da tiamina em alimentos. Os taninos podem desativar a tiamina, aparentemente pela formação de vários adutos biologicamente inativos. Proteínas e carboidratos podem reduzir a taxa de degradação da tiamina durante o aquecimento ou na presença de bissulfito, embora a extensão desse efeito seja de difícil previsão em sistemas alimentares complexos. A tiamina degrada com rapidez na presença de íons bissulfito, um fato que estimulou a regulamentação federal que

proíbe a utilização de agentes sulfitantes em alimentos que sejam fontes significativas de tiamina na dieta. A clivagem de tiamina por bissulfito é semelhante à que ocorre em  $\text{pH} \leq 6$ , embora o produto da pirimidina seja sulfonado. Diversos pesquisadores têm observado correspondências de condições ( p. ex. o pH e a atividade de água) que favorecem a degradação da tiamina e o progresso da reação de Maillard (DAMADORAN, 2010).

Apesar da biodisponibilidade da tiamina ainda não ter sido totalmente avaliada, sua utilização parece ser completa na maioria dos alimentos analisados. A formação de tiamina dissulfídica e misturas de compostos dissulfídicos durante o processamento dos alimentos parece exercer pouco efeito sobre a biodisponibilidade da tiamina. A tiamina dissulfídica apresentou 90% da atividade da tiamina em bioensaios com animais (DAMADORAN, 2010).

### 2.3.1.2 Vitamina B2

A estrutura dessa vitamina é apresentada usualmente como riboflavina (Figura 2.4), tendo o núcleo isoaloxazina apenas uma cadeia ribitol anexada.



**Figura 2.4** Estrutura geral da Riboflavina

Entretanto, na maioria dos materiais biológicos, ela ocorre sobretudo, sob a forma de dois nucleotídeos, FMN, e flavina adenina dinucleotídeo, FAD. Estes ocorrem como grupos prostéticos das enzimas respiratórias conhecidas como flavoproteínas e também na forma livre quando referidos a coenzimas.

A distribuição das riboflavinas nos alimentos é bastante similar à da tiamina, sendo encontradas em pequenas quantidades em quase todos os tipos de tecidos biológicos e sendo, sobretudo, abundantes em carnes (0,2 mg por 100g), em especial no fígado (3,0 mg por 100g). Diferentemente da tiamina, os cereais não são uma fonte rica, ao contrário do leite (0,15 mg por 100g) e dos queijos (0,5 mg por 100g), que são fontes valiosas. A levedura de cerveja e os extratos de leveduras contem grandes quantidades de riboflavina e de muitas outras vitaminas,

mas é interessante considerar que a tiamina não é perdida durante a fermentação da cerveja, como ocorre com a riboflavina (0,05 mg por 100g) (COULTATE, 2004).

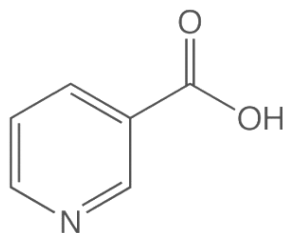
A riboflavina é uma das vitaminas mais estáveis. As condições alcalinas em que ela se apresenta instável são raramente encontradas em alimentos. O aspecto mais importante da sua estabilidade é a sua sensibilidade a luz. Isso não é significativo em alimentos opacos como carnes, mas, no leite, esse efeito pode ser dramático. Foi relatado que mais de 50% da riboflavina do leite contido em frascos de vidro podem ser destruídas em duas horas de exposição à luz solar. A decomposição da riboflavina tem mais relevância que a simples perda da vitamina A. Ambos os produtos da decomposição são agentes oxidantes mais poderosos que a própria riboflavina e catalisam uma expressiva destruição de vitamina C (ácido ascórbico). Outro feito importante da decomposição da riboflavina é que, no curso da reação, que envolve interação com o oxigênio, estados altamente reativos da molécula de oxigênio são produzidos, em particular o oxigênio singlete.

Geralmente os vegetais não constituem fontes importantes de riboflavinas, e perdas por lixiviação durante o branqueamento ou fervura da água não são significativas. Outras operações de cozimento, como assado de carne e o cozimento de cereais, tem efeitos significantes.

### 2.3.1.3 *Vitamina B3*

O termo niacina é um descritor genérico para designar tanto o ácido nicotínico como a nicotinamida. Esses nomes causam grande controvérsia, porque intuitivamente podem ser associados à nicotina do tabaco. De fato, o ácido nicotínico foi identificado pela primeira vez a partir da oxidação da nicotina.

A niacina (Figura 2.5) é amplamente distribuída nos alimentos de origem animal e vegetal. As principais fontes são carnes, cereais, leguminosas e sementes. Os alimentos ricos em triptofano também são fontes indiretas de niacina. Nas plantas, particularmente em cereais, a niacina está associada por ligação covalente a polissacarídeos e proteínas, sendo chamada niacitina. A niacina conjugada tem biodisponibilidade reduzida, ou seja, baixo valor nutricional. No caso do milho, o pré-tratamento com hidróxido de cálcio, procedimento usado comumente no México e na América Central para preparar a tradicional tortilha, um tipo de pão asmo (não fermentado), aumenta a biodisponibilidade da niacina. (BERDANIER, 1998; JACOB, 2006).



**Figura 2.5** Estrutura geral da Niacina

No sentido exato da palavra, a niacina não é uma vitamina (composto essencial que precisa ser incorporado na dieta), pois a vitamina B3 é uma das poucas vitaminas que pode ser sintetizada no organismo (BALL, 2004). A sua síntese é realizada a partir do aminoácido essencial L- triptofano que é absorvido no intestino após digestão de proteínas. Para se obter 1 mg de niacina são necessárias 60 mg de triptofano (BALL, 2004).

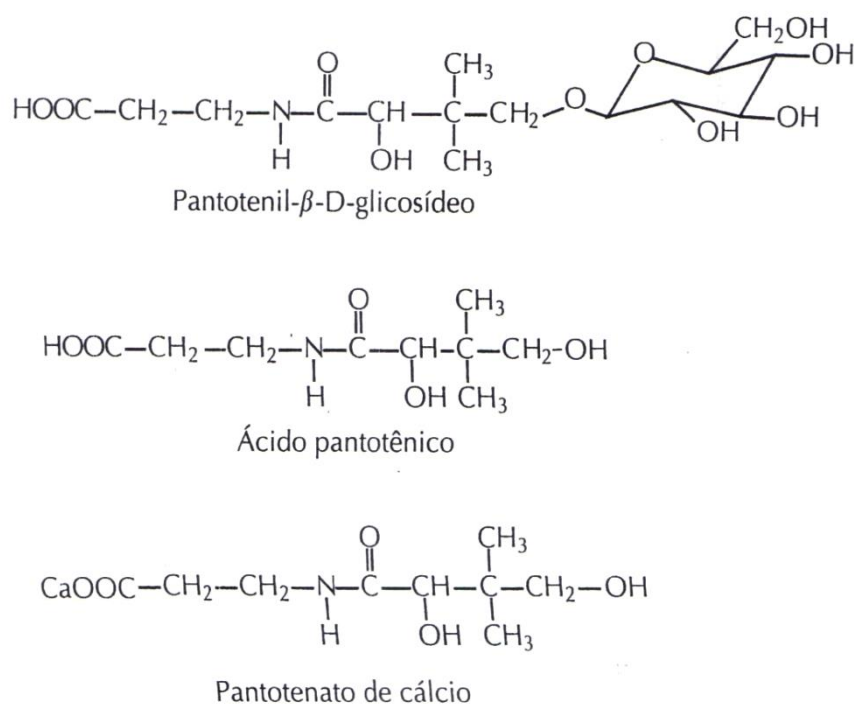
Segundo Jacob (2006) a niacina é metabolizada por outra via metabólica, na qual o ácido nicotínico se conjuga com a glicina formando o metabólito chamado ácido nicotínico, que também é encontrado na urina. A distribuição dos catabólitos na urina é dependente da quantidade e do tipo de niacina que foi absorvida, bem como do estado metabólico de niacina no indivíduo. A cocção pode alterar a concentração relativa de alguns compostos da niacina por meio de reações de interconversão. Por exemplo, o aquecimento libera nicotinamida livre a partir de NAD e NADP durante a fervura do milho. Além disso, a distribuição de compostos de niacina em um produto varia em função da espécie (p. ex., milho doce ou milho do campo) e da fase de maturidade. (DAMADORAN, 2010).

A existência de formas de niacina nutricionalmente indisponíveis em muitos alimentos de origem vegetal é conhecida há muitos anos, embora as identidades químicas dessas formas indisponíveis sejam caracterizadas de maneira insatisfatória. Além das formas quimicamente ligadas discutidas, várias outras formas de niacina contribuem para que sua disponibilidade seja incompleta em alimentos de origem vegetal. NADH, a forma reduzida de NAD e, com base nisso, NADPH apresentam biodisponibilidade muito pequena, devido a sua instabilidade na acidez do ambiente gástrico. Esse fato pode ser de pouca importância nutricional em decorrência da baixa concentração das formas reduzidas em muitos alimentos (DAMADORAN, 2010).

### 2.3.1.4 Vitamina B5

Segundo Franco (2008) a identificação do ácido pantotênico (Vitamina B5) deve-se a Williams em 1939, como uma substância essencial ao crescimento de leveduras. O nome derivado do grego significa “por toda parte”, indicando a extensão dessa vitamina na natureza. O papel da vitamina B5 na nutrição animal foi demonstrado experimentalmente em pintos, em uma doença de carência em aves, caracterizada por lesões da pele e que foram conhecidas por serem curadas pelo filtrado de frações preparadas com extrato de fígado. Em animais a doença foi caracterizada pelo emagrecimento, perda e embranquecimento de cabelo de animais escuros, úlcera gastroduodenal e lesões em vários órgãos internos.

De acordo com Damadoran (2010) o ácido pantotênico ou D-N-(2,4-di-hidroxi-3,3-dimetil-butiril-β-alanina), é uma vitamina hidrossolúvel composta por β-alanina, com ligação por amido ao ácido 2,4-di-hidroxi-3,3-dimetil-butírico (pantoico) (Figura 2.6).



**Figura 2.6** Estrutura de várias formas de ácido pantotênico de acordo com Damadoran, 2010.

A vitamina B5 é facilmente solúvel em acetato de etilo e água, mas pouco solúvel em éter etílico. A sua estabilidade é altamente dependente do pH. Ao contrário de outras vitaminas do complexo B, a B5 torna-se mais estável quando o pH da solução aumenta, apresentando-se estável a pH entre 5 e 7. Abaixo e acima destes valores, as soluções de ácido pantotênico são



termolábeis. Embora apresente boa estabilidade na maioria dos alimentos durante o processamento, apresenta-se susceptível à lixiviação (BALL, 2006).

O ácido pantotênico ocorre, em alimentos, na forma livre e ligada. Cerca de 85% do ácido pantotênico ocorre ligado à coenzima A (CoA) (GROPPER, 2009). A atividade biológica da vitamina B5 é atribuível à sua incorporação na estrutura molecular da CoA e na proteína transportadora de acilo. Como componente da CoA, o ácido pantotênico é essencial para numerosas reações envolvidas na libertação de energia dos aminoácidos, gordura e açúcares (BALL, 2006).

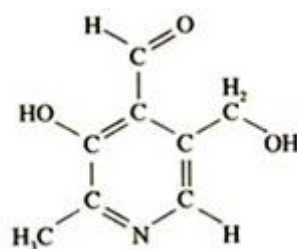
De acordo com Ball (2004) o homem não consegue sintetizar o ácido pantotênico, dependendo das fontes alimentares para adquirir esta vitamina. A vitamina B5 é particularmente abundante nos órgãos animais (fígado, rim, coração) e também na gema de ovo, amendoins e favas. A carne magra, o leite, a batata e hortaliças verdes contêm menor quantidade desta vitamina, mas serão importantes fontes se consumidas em quantidades suficientes.

Damadoran (2010) descreveu que em solução, o ácido pantotênico é mais estável em pH 5-7. Ele exibe estabilidade relativamente boa durante o armazenamento de alimentos, em especial com atividade de água reduzida. As perdas ocorrem na cocção e no processamento térmico, em proporção a ostentividade do tratamento e à extensa da lixiviação. Essas perdas podem variar de 30 a 80%. Embora o mecanismo de perda térmica da vitamina B5 não tenha sido totalmente determinado, uma hidrólise catalisada por ácidos ou bases da ligação entre  $\beta$ -alanina e o grupo ácido 1,4-dihidroxi, 3,3-butiril-carboxílico parece provável. A degradação dessa vitamina durante o processamento térmico apresenta uma cinética de primeira ordem. As taxas de degradação da vitamina B5 livre em soluções-tampão aumentam com o decréscimo do pH em níveis entre 6,0 - 4,0, enquanto a energia de ativação diminui ao longo dessa faixa. As taxas de degradação dessa vitamina relatadas são muito inferiores às de outros nutrientes lábeis (p. ex. tiamina). Esses resultados sugerem que as perdas desse ácido em outros estudos de transformação de alimentos podem ser causadas mais pela lixiviação que pela destruição efetiva. Contudo, o resultado líquido de ambos os processos é o mesmo.

A biodisponibilidade média do pantotenato em dietas mistas tem sido relatada como sendo de aproximadamente de 50%. Há poucas preocupações em relação a eventuais conseqüências negativas da biodisponibilidade incompleta, pois a ingestão de ácido pantotênico costuma ser adequada. Nenhuma evidência de problemas nutricionais significativos, oriundos de biodisponibilidade incompleta, foi relatada, sendo que as formas de coenzima A complexada são digeridas e absorvidas com facilidade (DAMADORAN, 2010).

### 2.3.1.5 Vitamina B6

Vitamina B6 (Figura 2.7) é o termo genérico para o grupo de 2-metil, 3-hidroxi, 5-hidroxi-metil-piridinas, apresentando atividades vitaminínicas de piridoxina (PN) (DAMADORAN, 2010).



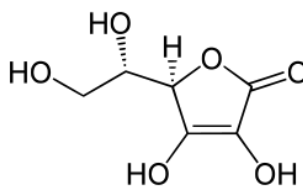
**Figura 2.7** Estrutura geral da Piridoxina

O processamento térmico e o armazenamento dos alimentos podem influenciar no conteúdo de vitamina B6 de vários modos. Assim como acontece com outras vitaminas hidrossolúveis, a exposição à água pode causar lixiviação e perdas consequentes. As alterações químicas podem envolver interconversão de formas químicas da vitamina B6, degradação térmica ou fotoquímica, bem como complexação irreversível com proteínas, peptídeos ou aminoácidos. (DAMADORAN, 2010).

Muitos fatores influenciam na biodisponibilidade da vitamina B6. A biodisponibilidade da vitamina B6 a partir de dietas mistas típicas tem sido estimada em ~75% para humanos adultos. (DAMADORAN, 2010).

### 2.3.1.6 Vitamina C

Ácido L - ascórbico (AA) é um dos antioxidantes naturais mais importantes fornecida por frutas e verduras; é o principal biologicamente forma ativa de vitamina C (Figura 2.8).



**Figura 2.8** Estrutura geral do Ácido Ascórbico

Esta vitamina, presente em níveis elevados na polpa de acerola, é usada como um índice de qualidade, porque é muito sensível à degradação durante o processamento e armazenamento (LEE e KADER, 2000). O ácido ascórbico é um composto considerado como carboidrato cujas propriedades redutoras e de acidez são dadas pela porção 2,3 - enediol. Esse composto é altamente polar, dessa forma, é bastante solúvel em soluções aquosas e insolúvel em solventes não polares.

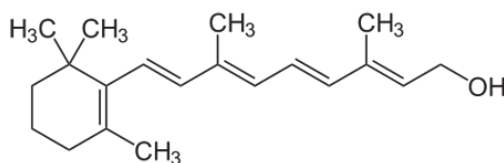
A degradação de vitamina C ocorre tanto sob condições aeróbicas e anaeróbicas. O primeiro caso é caracterizado pela oxidação reversível de AA para o ácido L- dehidroascórbico (DHA), que também exibe atividade biológica. Além disso oxidação irreversível de DHA gera ácido dicetogulônico (DCG), que não tem nenhuma função biológica. A degradação da vitamina C em condições anaeróbicas condição ainda não está elucidado, devido à sua complexidade (FENNEMA, 1996). A vitamina C é mais sensível à degradação quando o produto é submetido a condições adversas de manuseamento e armazenagem. As perdas podem aumentar no armazenamento prolongado, altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, danos físicos e danos pelo frio (LEE E KADER, 2000). O ácido ascórbico pode ser obtido a partir de frutos, uma vez que tem o potencial para manter o organismo humano saudável e especialmente para proteger contra o câncer e doenças infecciosas (CHAMBIAL et al, 2013; LANDETE, 2013). Ele não é um composto estável e é facilmente oxidado sob condições severas, tais como aquecimento e prolongada tratamento excessivo calor. É necessária uma temperatura de processamento moderada para garantir maior retenção de ácido ascórbico, como ele é um composto altamente sensível ao calor. O tratamento ultrassônico produziu menos degradação do ácido ascórbico em comparação com o tratamento convencional para o processamento térmico de sucos de frutas (RAWSON et al, 2011; ABID et al, 2014). A retenção de ácido ascórbico de 96% em suco de melancia aconteceu na temperatura de tratamento de 29°C em um sonicador por 5 minutos de tempo de processamento (RAWSON et al., 2011). Suco de maçã tem retenção de ácido ascórbico de cerca de 96%, em tratamento com ultrassom à temperatura de 40 °C e tempo de sonicação 5 minutos (ABID et al., 2014). Como o oxigênio influencia a estabilização de ácido ascórbico em sucos de fruta, a sonicação também auxilia na remoção de oxigênio dissolvido durante a cavitação para obter maior teor de ácido ascórbico (CHENG et al., 2007).

As principais fontes alimentares de AA são frutas e vegetais, sucos e alimentos enriquecidos (p.ex., cereais matinais). A biodisponibilidade do AA no brócolis cozido, na laranja e no suco de laranja tem demonstrado ser equivalente à de vitaminas em comprimidos para seres humanos (MANGELS et. al, 1993). A biodisponibilidade do AA no brócolis cru é

20% menor que o cozido. Isso pode ser causado pela ruptura incompleta das células durante a mastigação e a digestão. A diferença relativamente pequena entre biodisponibilidade nos brócolis cru e cozido (o que pode ocorrer com outras matérias primas vegetais, em relação as suas formas cozidas), podem ter pouco significado nutricional. Em geral, é claro que o AA na maior parte das frutas e vegetais encontram-se altamente disponível para o homem (GREGORY, 1993).

### 2.3.1.7 Vitamina A

A forma ativa da vitamina A em mamíferos é a do álcool retinol (Figura 2.9), mas, na dieta, a maior parte da vitamina ocorre como precursores, dos quais existem muitos. Os tecidos vegetais fornecem a vitamina na forma de carotenoides. A absorção de carotenoides e a sua conversão para retinol não ocorrem por completo ou com eficiência uniforme, por isso, a estimativa de atividade da vitamina em diferentes alimentos é bastante complicada (COULATE, 2004).



**Figura 2.9** Estrutura geral da Vitamina A

De acordo com Roncada (1978), a vitamina A é a mais estudada das vitaminas, já que sua deficiência prolongada causa uma grave doença carencial, a hipovitaminose A. Se não tratada a tempo, a hipovitaminose A acarreta uma síndrome ocular, a xeroftalmia, a qual poderá conduzir a um quadro de cegueira irreversível.

As fontes alimentares de origem animal da vitamina A são fígado, manteiga, queijo, leite integral, gema de ovo e peixe. Contudo, também existem alimentos de origem vegetal, com preços mais acessíveis do que os de origem animal, que são ricos em carotenóides formadores de vitamina A.

A degradação da vitamina A (retinoides e carotenoides com atividade pró-vitáminica A) costuma ser paralela à degradação oxidativa de lipídeos insaturados. Os fatores que promovem a oxidação dos ácidos graxos insaturados aumentam a degradação da vitamina A, quer por oxidação direta quer por efeitos indiretos dos radicais livres. Pode-se observar, contudo, que o armazenamento de vitamina A em alimentos como cereais matinais fortificados, fórmulas

infantis, leite, sacarose fortificada e condimentos não costuma implicar em grandes prejuízos à retenção de vitamina A adicionada (DAMADORAN, 2010).

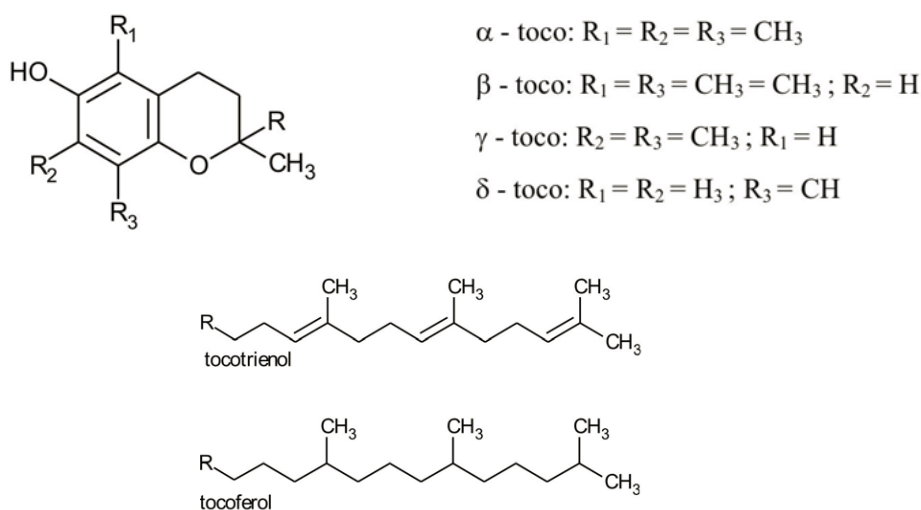
Os retinoides são absorvidos com eficiência, exceto em condições em que há má absorção de gordura. Dietas que contem materiais hidrofóbicos não absorvíveis, tais como substitutos de gordura, podem contribuir para a má absorção da vitamina A. A biodisponibilidade de vitamina A adicionada ao arroz tem sido observada em seres humanos.

Apesar da diferença inerente à utilização entre o retinol e os carotenoides pró-vitamínicos A, os carotenoides de muitos alimentos são mal absorvidos no intestino. A absorção pode ser prejudicada pela ligação específica dos carotenoides a carotenoproteínas ou pela retenção promovida por vegetais de baixa digestibilidade (DAMADORAN, 2010).

### 2.3.1.8 Vitamina E

Vitamina E também conhecida como tocoferol, é o termo genérico para tocóis e tocotrienos que exibem atividade de vitamina similar a do  $\alpha$ -tocoferol. São substâncias insolúveis em água, mas solúveis em lipídios e solventes orgânicos (MIRANDA, 2004).

Os tocoferóis são compostos monofenólicos, existentes em vegetais, principalmente em sementes oleaginosas e folhas, que possuem atividade antioxidante e de vitamina E. Eles estão agrupados em duas séries de compostos que possuem estrutura química semelhante e recebem o nome genérico de tocóis e tocotrienóis (Figura 2.10). Os compostos da série tocóis possuem uma cadeia saturada ligada ao anel e são denominados tocoferóis, enquanto que os da série tocotrienóis possuem cadeia insaturada (SHAHIDI, 1992).



**Figura 2.10** Estrutura química do tocoferol e tocotrienol de acordo com Shahidi, 1992.

A vitamina E ocorre naturalmente em alimentos de origem vegetal, principalmente nos vegetais verde-escuros, nas sementes oleaginosas, nos óleos vegetais e no germe de trigo, além de estar presente também em alimentos de origem animal, como gema de ovo e fígado (FRANCO, 2008).

Os compostos com atividade de vitamina E são razoavelmente estáveis na ausência de oxigênio e de lípidos oxidados. O tratamento anaeróbico durante o processamento térmico, tais como os utilizados em autoclave no enlatamento de alimentos, tem pouco efeito sobre a atividade da vitamina E.

Em contraste, a taxa de degradação de vitamina E aumenta na presença de oxigênio molecular, e pode ser especialmente rápida quando, simultaneamente, os radicais livres estiverem presentes. A degradação oxidativa de vitamina E é fortemente influenciada pelos mesmos fatores que afetam a oxidação de lípidos insaturados. Um uso interessante nutricional de  $\alpha$ -tocoferol em alimentos é a cura do toucinho para minimizar a formação de nitrosaminas. Acredita-se que o composto fenólico lipossolúvel de  $\alpha$ -tocoferol sequestra os radicais livres nitrogenados (NO; NO<sub>2</sub>) um processo de nitrosação induzido por radicais. As reações dos compostos nos alimentos com atividade vitamimínica, especialmente  $\alpha$ -tocoferol, têm sido estudados extensivamente (FENNEMA, 1996).

A absorção dos tocoferóis é ineficiente e controlada por difusão passiva. Somente cerca de 20 a 40% do  $\alpha$ -tocoferol ingerido é absorvido, a absorção máxima ocorre no intestino delgado e depende de emulsificação, solubilização, difusão através da camada de água, permeação pelos eritrócitos, incorporação às partículas de lipoproteínas e transporte da mucosa para a circulação (BIANCHINI e PENTEADO, 2007).

Alguns estudos de biodisponibilidade são de caráter comparativo, pois há diferenças neste aspecto para as diferentes formas de vitamina E. Há interesse na comparação entre o  $\alpha$  e o  $\gamma$ -tocoferóis, pois apesar do  $\alpha$ -tocoferol apresentar a maior biopotência o  $\gamma$ -tocoferol é predominante em muitas fontes, podendo sua ingestão ser superior de duas a quatro vezes à do  $\alpha$ -tocoferol, existem hipóteses de que altos teores de vitamina A interferem no aproveitamento da vitamina E, sendo os mecanismos ainda desconhecidos (BIANCHINI e PENTEADO, 2007).

### **2.3.2 Carotenoides totais e $\beta$ caroteno**

Os carotenóides, juntamente com as vitaminas, são os compostos mais estudados como agentes quimio preventivos pois atuam como antioxidantes em sistemas biológicos (POOL-

ZOBEL, 1997). Estudos demonstram a relação entre o aumento no consumo de alimentos ricos em carotenóides e a diminuição no risco de várias doenças.

Segundo Olson (1999), os carotenóides sequestram o oxigênio *singlet*, removem os radicais peróxido, modulam o metabolismo carcinogênico, inibem a proliferação celular, estimulam a comunicação entre células e aumentam a resposta imune. O Beta-caroteno constitui um pigmento natural e o mais abundante do grupo dos carotenóides, presente nos alimentos. É encontrado, especialmente, em vegetais e frutas de cor amarelo-alaranjada e em vegetais folhosos de cor verde-escura. Nestes, a cor natural do carotenóide é mascarada pela clorofila, presente nos cloroplastos (MANGELS et al., 1993; RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

### 2.3.3 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são caracterizados estruturalmente por possuírem um anel aromático, contendo um ou mais substituintes hidroxila, variando de simples moléculas fenólicas a compostos altamente polimerizados. Estes compostos desempenham um importante papel no crescimento e reprodução, fornecendo proteção contra patógenos e predadores (BRAVO, 1998). Outros tem função no suporte mecânico, como atrativo de polinizadores ou dispersores de frutos, na proteção contra a radiação ultravioleta ou reduzindo o crescimento de plantas competidoras adjacentes, além de contribuírem também, para a coloração e características sensoriais de frutas e outros vegetais (ALASALVAR et al., 2001). Há ainda outros efeitos biológicos atribuídos, no entanto, ao consumo dos compostos fenólicos, entre os quais, sua grande capacidade de recuperação de radicais livres, atividades vasodilatadora, antiaterogênica, antiinflamatória, antibacteriana, antialérgica entre outras (BENAVENTE-GARCIA et al., 1997; MANACH, MAZUR e CALBERT, 2005; MIDDLETON, KANDASWAMI e THEOHARIDES, 2000; PUUPPONEN-PIMIÄ et al., 2001; SAMMAN LIONS, WALL e COOK, 1998).

Derivados de diferentes rotas, os compostos fenólicos constituem um grupo bastante heterogêneo do ponto de vista metabólico. Duas rotas metabólicas básicas estão envolvidas na síntese desses compostos, a rota do ácido chiquímico e a rota do ácido malônico. A primeira participa na biossíntese da maioria dos fenóis vegetais. A segunda é importante fonte de produtos secundários fenólicos em fungos e bactérias, porém, é menos significativa em plantas superiores (TAIZ e ZEIGER, 2004). A classe mais abundante de compostos fenólicos secundários em plantas é derivada da fenilalanina, através da eliminação de uma molécula de amônia para a formação do ácido cinâmico. Essa reação é catalisada pela fenilalanina

amonialise (FAL), que pode ter sua atividade aumentada por fatores ambientais, tais como baixos níveis de nutrientes, luz e infecções por fungos. Os compostos fenólicos podem ser classificados em flavonóides e não-flavonóides. O primeiro grupo representa a maioria dos polifenóis encontrados nos alimentos (SCALBERT e WILLIAMSON, 2000), além de serem considerados os mais potentes antioxidantes (SOOBRAATTEE et al., 2005). Deste, fazem parte os flavanóis (catequina, epicatequina e epigallocatequina), flavonóis (caempferol, quercetina e miricetina) e antocianinas, e ao segundo grupo pertencem os ácidos fenólicos, hidroxibenzóicos e hidroxicinâmicos (CABRITA, SILVA e LAUREANO, 2003).

#### **2.4 Aplicação do ultrassom e plasma a frio em sucos**

As frutas são altamente perecíveis e devem ser transformadas em sucos para garantir o ano todo seu fornecimento. Cada vez mais é necessária maior qualidade do suco para atender às necessidades de consumo e os aspectos de segurança são considerações importantes para prolongar a vida de prateleira. Sucos de frutas são produtos alimentares que são termicamente sensíveis e suscetíveis a alterações microbiológicas, químicas e físicas. Os métodos de processamento podem afetar a qualidade e segurança dos sucos de frutas. Hoje, o uso de tecnologias de processamento de alimentos não térmicos está disponível para atender às demandas dos naturais e saudáveis sucos de frutas com o mínimo de danos às suas propriedades nutricionais e organolépticas naturais. No processo de transformação de sucos de frutas convencional, este é termicamente tratado e resulta em alguma perda de compostos nutricionais tais como flavonoides (IGUAL et al., 2011) e carotenoides (FRATIANNI et al., 2010). Sua eficiência de produção é de cerca de 60 a 80% do rendimento de suco de frutas com rápida queda se frutos velhos são usados.

O uso do ultrassom como uma tecnologia alternativa para as tecnologias de processamento de sucos de frutas convencionais tem atraído o interesse de muitos de seus benefícios em relação à redução do tempo de processamento, reduzindo o consumo de energia, aumentando a eficiência e a melhoria da qualidade de vida de prateleira dos sucos de frutas. Estas melhorias são possíveis devido às propriedades de transferência instantânea de energia acústica em sucos de frutas. O tratamento com ultrassom pode penetrar as paredes celulares da fruta e liberar o conteúdo da célula preso nos tecidos do fruto. A preservação térmica, tais como pasteurização e a esterilização são comumente usados para destruir os micro-organismos e inativar enzimas nos sucos de frutas. Estes tratamentos extremos de calor a uma temperatura superior a 80 °C podem causar mudanças indesejáveis nas várias propriedades dos sucos,



incluindo características físicas, químicas, biológicas e características organolépticas tais como nutrientes, cor e sabor (BHATTACHERJEE et al., 2011; PIASEK et al., 2011; GINER et al., 2013; MENA et al., 2013).

A Tabela 2.2 resume os efeitos do tratamento ultrassônico sobre a qualidade dos sucos de fruta e as suas referências.

**Tabela 2.2** Efeitos do tratamento ultrassônico nos parâmetros de qualidade de sucos de frutas.

<b>Parâmetros de qualidade</b>	<b>Efeitos do tratamento ultrassônico</b>	<b>Uso do processo na literatura</b>	<b>Referência</b>
Rendimento de suco	Aumenta a capacidade de produção de suco	Extração de suco de uva em até 82,3%	(Lieu e Le, 2010)
		Extração de suco de groselha maior que 45%	(Holtung et al., 2011)
Conteúdo de ácido ascórbico	Remove o oxigênio dissolvido durante a cavitação produzem menos degradação do ácido ascórbico.	Retenção de ácido ascórbico de cerca de 96% em suco de melancia	(Rawson et al., 2011).
		Retenção de cerca de 96% de ácido ascórbico em suco de maçã	(Abid et al., 2014).
Cor do suco	Promove sucos mais atraentes	Retenção de licopeno 98-106,68% em suco de melancia	(Rawson et al., 2011).
		Retenção de mais de 98% de antocianinas em suco de morango	(Dubrovic et al., 2011).
Inativação de enzimas	Preserva a cor do suco por inativação de polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD).	Inativação de PPO e POD em suco de maçã foram 93,85% e 91%, respectivamente	(Abid et al., 2014).

Cresce cada vez mais a demanda de consumidores por alimentos seguros, nutritivos e com características organolépticas atraentes tem impulsionado a área de tecnologia de alimentos a buscar técnicas de processamento mais amenas em substituição aos processamentos térmicos convencionais (RAWSON et al., 2011; PALA e TOKLUCU, 2013). Entre as tecnologias de processamento sem utilização de calor, o plasma frio vem ganhando destaque como uma das mais promissoras (AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014).

A influência do plasma frio na descontaminação de alimentos (HERCEG et al., 2015 e REŽEK JAMBRAK et al., 2014), e na adequação para uso em sucos de frutas afim de inativar enzimas e proporcionar segurança alimentar através da sua pasteurização (SHI et al., 2011, SUROWSKY et al., 2014, ELEZ GAROFULIĆ et al., 2015) tem sido alvo de crescentes estudos. Influência de tal tecnologia na química de alimentos em sucos (principalmente parâmetros de perda nutritiva durante o processamento) ainda está insuficientemente documentado, necessitando de cada vez mais pesquisas nesta área.

## 2.5 Acerola e suas propriedades

A acerola (*Malpighia emarginata* DC) foi escolhida como objeto de estudo para este trabalho por sua quantidade de vitaminas, carotenoides e compostos fenólicos, sendo interessante o estudo da mesma.

A acerola é cultivada comercialmente, no Brasil, desde meados dos anos 80, principalmente no Nordeste, com destaque para os estados de Pernambuco, Paraíba, Bahia e Ceará (CODEVASF, 2003). Outros Estados, como Pará, São Paulo e Minas Gerais, situados nas Regiões Norte e Sudeste, também vêm-se destacando na produção de acerola. A maior parte da produção brasileira de acerola é absorvida pelas indústrias de processamento e exportada para diversos países da Europa, Japão, Estados Unidos e Antilhas, na forma de polpa ou frutos congelados e suco integral (BLISKA e LEITE, 1995).

A polpa pasteurizada congelada e o suco pasteurizado são os principais produtos derivados da fruta explorados comercialmente. As características e composição desses produtos no Brasil devem seguir os padrões de identidade e qualidade para polpas e sucos de frutas, aprovado pela Instrução Normativa nº 12, de 13 de setembro de 1999. (BRASIL, 1999).

Em menor escala, a acerola é também utilizada na fabricação de produtos como geléias, produtos liofilizados, conservas, licores, vinhos, sorvetes, xaropes, balas e adicionada a sucos de outras frutas (*blends*) para enriquecimento com vitamina C. Normalmente, a acerola não é

uma fruta muito atrativa para consumo ao natural uma vez que geralmente apresenta sabor ácido e adstringente, é delicada e deteriora-se rapidamente.

A utilização de frutos verdes de acerola como matéria-prima é preferencialmente feita pela indústria farmacêutica, pois apresentam teores mais elevados de vitamina C que a fruta madura. Mediante as técnicas de atomização ou liofilização, a fruta verde é transformada em pó, que pode ser usado como ingrediente na indústria alimentícia, adicionado a sucos naturais ou em massas pré-prontas para bolos e doces, e farmacêutica. O pó também pode ser colocado em cápsulas de gelatina para consumo direto (EMBRAPA, 2011).

Acerola é um fruto tropical de grande valor nutricional por causa do seu elevado teor de vitamina C (1000 - 4000 mg/100 g) e a presença de outros nutrientes, tais como as antocianinas, carotenoides, ferro e cálcio. A perda de suas vitaminas e pigmentos devido ao tratamento térmico durante o processamento de alimentos é um preocupante que podem ser potencialmente atenuados pela alternativa de processos não térmicos. Apresenta alto rendimento de polpa e possui inúmeros usos, com elevado potencial para produtos processados e indústria farmacêutica.

As características nutricionais da acerola estão na Tabela 2.3, segundo USDA (2015).

**Tabela 2.3** Características nutricionais da acerola por 100g de fruta.

Nutrientes	
Água	91,41g
Energia	32 kcal
Proteína	0,40 g
Lipídios totais	0,30 g
Carboidratos	7,69 g
Fibra dietética	1,1 g
Minerais	
Cálcio (Ca)	12 mg
Ferro (Fe)	0,20 mg
Magnésio (Mg)	18 mg
Fósforo (P)	11 mg
Potássio (K)	146 mg
Sódio (Na)	7 mg
Zinco (Zn)	0.10 mg
Vitaminas	
Ácido ascórbico	1677,6 mg
Tiamina	0,020 mg
Riboflavina	0,060 mg
Niacina	0,400 mg
Vitamin B6	0,009 µg
Vitamina B12	0,00 µg
Vitamina A	38 µg

## REFERÊNCIAS

- AFSHARI, R.; HOSSEINI, H. Non-thermal plasma as a new food preservation method, its present and future prospect. **Journal of Paramedical Sciences (JPS)**. v. 5, p.116-120, 2014.
- ABID, M./ JABBAR, S.; HU, B.; HASHIM, M. M.; WU, T; LEI, S.; KHAN, M. A.; ZENG, X. Thermosonication as a Potential Quality Enhancement Technique of Apple Juice. **Ultrasonics Sonochemistry** v.21, n.3, p. 984-990, 2014.
- ALASALVAR, C.; GRIGOR, J. M.; ZHANG, D.; QUANTICK, P. C.; SHAHIDI, F. Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 1410–1416, 2001.
- ALISSANDRAKIS, E.; MANTZIARAS, E.; TARANTILIS, P.A.; HARIZANIS, P.C.; POLISSIOU, M. Generation of Linalool Derivatives in an Artificial Honey Produced from Bees Fed with Linalool-Enriched Sugar Syrup. **European Food Research and Technology** v. 231, n.1, p.21-25, 2010.
- AMIGO-BENAVENT, M.; NITRIDE, C.; BRAVO, L.; FERRANTI, P.; CASTILLO, M. D. Stability and bioactivity of a bowman-birk inhibitor in orange juice during processing and storage. **Food and function**, v. 4, n. 7, p. 1051-1060, 2013.
- BALL, G. F. M. **Vitamins: Their Role in the Human Body**. Blackwell Publishing. London, 2004.
- BALL, G. F. M. **Water-soluble vitamin assays in human nutrition**. London: Chapman e Hall, p. 416, 1994.
- BENAVENTE-GARCIA, O.; CASTILLO, J.; MARIN, F. R.; ORTUNO, A.; DEL RIO, J. A. Uses and properties of citrus flavonoids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 45, p. 4505–4515, 1997.
- BERDANIER, C. D. **Advanced Nutrition Micronutrients**; Wolinsky, I ed.; CRC Press: Florida, cap. 4, 1998.
- BERMÚDEZ-AGUIRRE, D.; ERIK, W; PATRICK, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.; GARCIA-PEREZ, M. “Effect of Atmospheric Pressure Cold Plasma (APCP) on the Inactivation of Escherichia Coli in Fresh Produce.” **Food Control**. v. 34, n.1, p. 149–57. Retrieved August 27, 2014.
- BHATTACHERJEE, A. K.; TANDON, D. K.; DIKSHIT, A.; KUMAR, S. Effect of Pasteurization Temperature on Quality of Aonla Juice during Storage. **Journal of Food Science and Technology**. v. 48, n.3, p. 269-273, 2011.
- BIANCHINI, R.; PENTEADO, M. V. C. Vitamina E. In: BATISTA, E. C. S.; COSTA, A. G. V.; PINHEIRO-SANT’ANA, H. M. Adição da vitamina E aos alimentos: implicações para os alimentos e para a saúde humana. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 20, n. 5, p. 525-535, 2007.

BLISKA, F. M. de M.; LEITE, R S. da S. F. **Aspectos econômicos e de mercado**. In: SÃO JOSÉ, AR; ALVES, RE. Ed. *Acerola no Brasil: produção e mercado*. Vitória da Conquista: UESB, p.107-123, 1995.

BORGES, S. S.; KORN, M. Geração sonoquímica de oxidantes em solução aquosa saturada de tetracloreto de carbono. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 558-562, 2002.

BOSILJKOV, T.; BRNČIĆ, M.; TRIPALO, B.; KARLOVIĆ, S.; UKRAINCZYK, M.; JEŽEK, D.; BRNČIĆ, S. R. Impact of Ultrasound-Enhanced Homogenization on Physical Properties of Soybean Milk. **Chemical Engineering Transactions**. v. 17, p. 1029-1034, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Portaria nº 136, de 31 de março de 1999. Submete à consulta pública os Padrões de Identidade e Qualidade para polpas e sucos de frutas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 1 abril, Seção 1, p.25-29, 1999.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**. v. 56, p. 317–333, 1998.

CABRITA, M. J.; SILVA, R. S.; LAUREANO, J. Os compostos fenólicos das uvas e dos vinhos. In: Seminário Internacional de Vitivinicultura 1., 2003, Ensenada, **Anais**. Cidade do México, 2003.

CHAMBIAL, S.; DWIVEDI, S.; SHUKLA, K. K.; JOHN, P. J.; SHARMA, P. Vitamin C in Disease Prevention and Cure: An Overview. **Indian Journal of Clinical Biochemistry** v. 28(4), p. 314-328, 2013.

CHANG C. C.; YANG M. H.; WEN H. M.; CHERN J. C. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. **J Food Drug Anal.** v. 10, p. 178-182, 2006.

CHENG, L. H.; SOH, C. Y.; LIEW, S. C.; TEH, F. F. Effects of Sonication and Carbonation on Guava Juice Quality. **Food Chemistry** v. 104 (4), p. 1396-1401, 2007.

CODEVASF. Censo frutícola da Codevasf Z001. Brasília. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/fruticultura>>. Acesso em: 7 out. 2003.

COULATE, T. P. **Alimentos: a química de seus componentes**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

DAMODARAN S.; PARKIN K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4<sup>ed</sup>, Porto Alegre, Artmed, 2010.

DUBROVIĆ, I.; HERCEG, Z.; JAMBRAK, A. R.; BADANJAK, M.; DRAGOVIĆ-UZELAC, V. Effect of High Intensity Ultrasound and Pasteurization on Anthocyanin Content in Strawberry Juice. **Food Technology and Biotechnology** v. 49, n.2, p. 196-204, 2001.

ELEZ GAROFULIĆ, I.; REZEK JAMBRAK, A.; MILOŠEVIĆ, S.; DRAGOVIC-ZELAC, V.; ZORIC, Z.; HERCEG, Z. The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin

and phenolic acid content of sour cherry Marasca (*Prunus cerasus* var. Marasca) juice. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, n.1, 894–900, 2015.

EMBRAPA. **Informe Agropecuário ACEROLA**, Belo Horizonte, v.32, n.264, p.17-25, set./oul. 2011.

ERCAN, S. Ş.; SOYSAL, Ç. Effect of Ultrasound and Temperature on Tomato Peroxidase. **Ultrasonics Sonochemistry** v.18, n.2, p. 689-695, 2011.

FDA - U. S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: ultrasound. Jun. 2000. disponível em . Acesso em: 07 fev. 2005.

FENNEMA, O. R. **Food Chem.** 3 ed.; Marcel Dekker, Inc.; New York, p. 663- 665, 1996.

FERNÁNDEZ, A.; NORIEGA, E.; THOMPSON, A. “Inactivation of Salmonella Enterica Serovar Typhimurium on Fresh Produce by Cold Atmospheric Gas Plasma Technology.” **Food microbiology** v. 33, n.1, p. 24–29, 2013.

FERNÁNDEZ, A.; THOMPSON, A. “The Inactivation of Salmonella by Cold Atmospheric Plasma Treatment.” **Food Research International** v. 45, n.2, p. 678–84, 2012.

FLOROS, J. D.; LIANG, H. Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. **Food Technology**, Chicago, v. 48, n. 12, p. 79-84, 1994.

FONTELES, T. V.; COSTA, M. G. M.; DE JESUS, A. L. T.; DE MIRANDA, M. R. A., FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Power Ultrasound Processing of Cantaloupe Melon Juice: Effects on Quality Parameters. **Food Research International** v. 48(1), p. 41-48, 2012.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. 9º Edição. Rio de Janeiro: Editora Atheneu, p. 07-64, 1992.

FRANCO, G. **Tabela de composição dos alimentos**; ed. Atheneu, Rio de Janeiro - RJ, p. 21-22. 2008.

FRATIANNI, A.; CINQUANTA, L.; PANFILI, G. Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. **LWT - Food Science and Technology** v. 43, n. 6, p. 867-871, 2010.

GAMBOA-SANTOS, J.; MONTILLA, A.; SORIA, A. C., VILLAMIEL, M. Effects of Conventional and Ultrasound Blanching on Enzyme Inactivation and Carbohydrate Content of Carrots. **European Food Research and Technology** v. 234(6), p. 1071-1079, 2012.

GAO, S.; LEWIS, G. D.; ASHOKKUMAR, M.; HEMAR, Y. Inactivation of Microorganisms by Low-Frequency High-Power Ultrasound: 2. A Simple Model for the Inactivation Mechanism. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 21, n.1, p. 454-460, 2014.

- GINER, M. J.; HIZARCI, Ö.; MARTÍ, N.; SAURA, D.; VALERO, M. Novel Approaches to Reduce Brown Pigment Formation and Color Changes in Thermal Pasteurized Tomato Juice. **European Food Research and Technology** v. 236, n.3, p. 507-515, 2013.
- GOMES, P. M.; FIGUEIREDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. Armazenamento de polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.24, n.3, jul.- set., p. 384-389, 2004.
- GREGORY, J. F. Ascorbic acid bioavailability in foods and supplements. **Nutr. Rev.** v. 51, p. 301-309, 1993.
- GROPPER, S. The water-soluble vitamins. **Advanced nutrition and human metabolism**. Wadsworth Cengage Learning. USA, p. 309 – 372. 2009
- HERCEG, Z.; REZEK JAMBRAK, A.; VUKUŠIĆ, T.; STULIĆ, V.; STANZER, D.; MILOŠEVIĆ, S. The effect of high power ultrasound and gas phase plasma treatment on *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. count in pure culture. **Journal of Applied Microbiology**, v. 118, n.1, 132–141, 2015.
- HOLTUNG, L.; GRIMMER, S.; AABY, K. Effect of Processing of Black Currant Press-Residue on Polyphenol Composition and Cell Proliferation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n.8, pp. 3632-3640, 2011.
- HORVÁTH-KERKAI, E. **Manufacturing Fruit Beverages**, in "*Handbook of Fruits and Fruits Processing*". In: Hui, Y. H.; Barta, J.; Cano, M. P.; Gusek, T.; Sidhu, J. S.; Sinha, N. (First Edition). Blackwell Publishing, Iowa, USA, p. 211, 2006.
- HUNTERLAB. CIE Lab color scale: applications note, v.8, n.7, 1996. Acesso em 12 de outubro de 2012. Disponível em: <[http://www.hunterlab.com/color\\_theory.php](http://www.hunterlab.com/color_theory.php)>  
**instrumentation**. Japão: Minolta Co. Ltd., 2008.
- INSEL, P.; ET A. L. Water – Soluble Vitamins. Em: **Nutrition** – 4th ed. Jones and Bartlett Publishers. USA, p. 429 – 466, 2007.
- IGUAL, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; CAMACHO, M. M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Changes in Flavonoid Content of Grapefruit Juice caused by Thermal Treatment and Storage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** v. 12(2), p. 153-162, 2011.
- JACOB, R. A. **Present knowledge in nutrition**; bowman, B. A. Eds.; International Life Sciences institute: washington, cap. 20., 2006.
- KACI, M.; MEZIANI, S.; ARAB-TEHRANY, E.; GILLET, G.; DESJARDINS-LAVISSE, I.; DESOBRY, S. Emulsification by High Frequency Ultrasound using Piezoelectric Transducer: Formation and Stability of Emulsifier Free Emulsion. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 21, n. 3, p.1010-1017, 2014.
- KNORR, D.; FROEHLING, A.; JAEGER, H., REINEKE, K.; SCHLUETER, O.; SCHOESSLER, K. Emerging technologies in food processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 2, p. 203–235, 2011.



KOSHANI, R.; ZIAEE, E.; NIAKOUSARI, M.; GOLMAKANI, M. T. Optimization of Thermal and Thermosonication Treatments on Pectin Methyl Esterase Inactivation of Sour Orange Juice (*Citrus Aurantium*). **Journal of Food Processing and Preservation**. doi: 10.1111/jfpp.12262, 2014.

LANDETE, J. M. Dietary Intake of Natural Antioxidants: Vitamins and Polyphenols. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** v. 53, n.7, p.706-721, 2013.

LEE, S. K.; E KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v.20, p. 207 e 220, 2000.

LEFEBVRE, F.; PETIT, J.; NASSAR, G.; DEBREYNE, P.; DELAPLACE, G.; NONGAILLARD, B. Inline High Frequency Ultrasonic Particle Sizer. **Review of Scientific Instruments** v.84, n.7, p. 75-101, 2013.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Principles of Biochemistry**, 2<sup>nd</sup> ed., Worth Publishers: New York, 2007.

LEISTNER L.; GORRIS L.G.M. Food preservation by hurdle technology. **Trends in Food Science e Technology**, vol. 6, 1995.

LIEU, L. N.; LE, V. V. M. Application of Ultrasound in Grape Mash Treatment in Juice Processing. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 17, n.1, p. 273- 279, 2010.

LÓPEZ, P.; BURGOS, J. Lipoxygenase inactivation by manothermosonication: effects of sonication physical parameters, pH, KCl. Sugars, glycerol and enzyme concentration. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, p.620-625, 1995a.

LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; JIMÉNEZ-FERNÁNDEZ, M.; ALZAMORA, S. M.; GUERRERO, S. Multifactorial Fungal Inactivation Combining Thermosonication and Antimicrobials. **Journal of Food Engineering** v. 67, v. 1-2, p. 87-93, 2005.

LOPEZ-MALO, A.; GUERRERO, S.; ALZAMORA, S. M. *Saccharomyces cerevisiae*, thermal inactivation kinetics combined with ultrasound. **Journal of Food Protection**, v.62, p.1215-1217, 1999.

MAIA, A. R.; LOPES, J. C.; TEIXEIRA, C. O. Efeito do envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.3, p.678-684, 2007.

MANACH, C.; MAZUR, A.; SCALBERT, A. Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases. **Current Opinions in Lipidology**. v. 16, p. 77–84, 2005.

MANGELS, A. R.; BLOCK, C. M.; FREY, E. The bioavailability t humanos of ascorbic acid from oranges, orange juice and cooked broccoli is similar to that of synthetic ascorbic acid. **J. Nutr.** v.123, p.1054-1061, 1993.

MANGELS, A. R.; HOLDEN, J. M.; BEECHER, G. R.; FORMAN, M. R.; LANZA, E. Carotenoid content of fruits and vegetables: an evaluation of analytic data. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v.93, n.3, p.284-296, 1993.

MCCLEMENTS, D. J. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. **Trends in Food, Science & Technology**, Oxford, v. 6, n. 9, p. 293-299, Sept. 1995.

MENA, P.; VEGARA, S.; MARTÍ, N.; GARCÍA-VIGUERA, C.; SAURA, D.; VALERO, M. Changes on Indigenous Microbiota, Colour, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Pasteurized Pomegranate Juice. **Food Chemistry** v. 141, n.3, p. 2122-2129, 2013.

MIDDLETON, E.; KANDASWAMI, C.; THEOHARIDES, T. C. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease and cancer. **Pharmacological Reviews**. v. 52, p. 673–751, 2000.

MIRANDA, L. S. **Estabilidade das vitaminas A e E em alimentos enriquecido com diferentes fontes de ferro**, Campinas, SP: p.127, 2004.

MISRA, N.; KEENER, K. M.; BOURKE, P.; MOSNIER, J. P.; CULLEN, P. J. “In-Package Atmospheric Pressure Cold Plasma Treatment of Cherry Tomatoes.” **Journal of bioscience and bioengineering** v. 118, n.2, p. 177–82, 2015.

NORIEGA, E.; SHAMA, G.; LACA, A.; DÍAZ, M.; KONG, M. G. Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. **Food Microbiology**. v. 28, p. 1293-1300, 2011.

OLSON, J. A. **Carotenoids and Human Health**. **Arch. Latinoam. Nutr.**, Guatemala, v. 49, p. 7-11, 1999.

PALA, C. U.; TOKLUCU, A. K. Effects of UV-C light processing on some quality characteristics of grape juices. **Food and Bioprocess Technology**. v. 6, p.719-725, 2013.  
PAIXÃO J.A; STAMFORD T. L. M. Vitaminas Lipossolúveis Em Alimentos – Uma Abordagem Analítica. *Química nova*; v. 27, n. 1, p. 96-105, 2004.

PATIL, S.; BOURKE, P.; FRIAS, J. M.; TIWARI, B. K.; CULLEN, P. J. “Inactivation of *Escherichia Coli* in Orange Juice Using Ozone.” **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. v. 10, n.4, p. 551–57, 2014.

PIASEK, A.; KUSZNIEREWICZ, B.; GRZYBOWSKA, I.; MALINOWSKA-PAŃCZYK, E.; PIEKARSKA, A.; AZQUETA, A.; COLLINS, A. R.; NAMIEŚNIK, J.; BARTOSZEK, A. The Influence of Sterilization with Enbiojet® Microwave Flow Pasteurizer on Composition and Bioactivity of Aronia and Blue-Berried Honeysuckle Juices. **Journal of Food Composition and Analysis**. v. 24, n.6, p. 880-888, 2011.

POOL-ZOBEL, B. L. et al. Consumption of vegetables reduces genetic damage in humans: first results of a human intervention trial with carotenoid-rich foods. **Carcinogenesis**, London, v. 18, n. 9, p.1847-1850, 1997.

PUUPPONEN-PIMIÄ, R.; NOHYNEK, L.; MEIER, C.; KÄHKÖNEN, M.; HEINONEN, M.; HOPIA, A.; et al. Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries. **Journal of Applied Microbiology**. v. 90, p. 494–507, 2001.

RAWSON, A.; TIWARI, B. K.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; BRENNAN, C.; CULLEN, P. J.; O'DONNELL, C. Effect of Thermosonication on Bioactive Compounds in Watermelon Juice. **Food Research International**. v.44, n.5, p. 1168-1173, 2011.

REZĚEK JAMBRAK, A.; VUKUŠIĆ, T.; STULIĆ, V.; MRVČIĆ, J.; MILOŠEVIĆ, S.; HERCEG, Z. The effect of high power ultrasound and cold gas phase plasma treatments on selected yeast in pure culture. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 4, 791–800, 2014.

ROD, S. K.; HANSEN, F.; LEIPOLD, F.; KNOCHEL, S. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. **Food Microbiology**. v. 30, p. 233-238, 2012.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin a carotenoids in prepared, processed, and stored foods. **Arlington: John Snow**, 1997.

RONCADA M. J.; WILSON D.; NUNES M.F.; OKANI E. T. Hipovitaminose A em filhos de migrantes nacionais em trânsito pela cidade de São Paulo, Brasil. **Rev Saude Publica** v. 12, p. 345–350, 1978.

SAMMAN, S.; LYONS WALL, P. M.; COOK, N. C. Flavonoids and coronary heart disease: Dietary perspectives. In C. A. Rice-Evans & L. Packer (Eds.), **Flavonoids in health and disease**. New York: Marcel Dekker. p. 469–482, 1998.

SANDHU, K. S.; MINHAS, K. S.; SIDHU, J. S. Processing of Citrus Juices, in "*Handbook of Fruits and Fruit Processing*". In: Sinha, N., Sidhu, J., Barta, J., Wu, J., Cano, M.P. (Second Edition). Wiley-Blackwell, Iowa, USA, p. 510, 2012.

SHAHIDI, F.; JANITHA, P. K.; WANASUNDARA, P. D. Phenolic antioxidants. **Critical Reviews in Food Science**, v.32, n.1, p.67-103, 1992.

SCALBERT, A.; WILLIAMSON, G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 2073-2085, 2000.

SELCUK, M.; OKSUZ, L.; BASARAN, P. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. **Bioresource Technology**. v. 99. p. 5104–5109, 2008.

SHI, X. M.; ZHANG, G. J.; WU, X. L.; LI, Y. X.; MA, Y. E.; SHAO, X. J. Effect of lowtemperature plasma on microorganism inactivation and quality of freshly squeezed orange juice. **IEEE Transactions on Plasma Science**, 39 (7), 1591–1597, 2011.

ŠIMUNEK, M.; JAMBRAK, A. R.; DOBROVIĆ, S.; HERCEG, Z.; VUKUŠIĆ, T. Rheological Properties of Ultrasound Treated Apple, Cranberry and Blueberry Juice and Nectar. **Journal of Food Science and Technology**. p. 1-17, 2013.

- SOOB RATTEE, M. A.; NEERGHEEN, V. S.; LUXIMON-RAMMAA, A.; ARUOMAB, O. I.; BAHORUN, T. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. **Mulation Research**, v. 579, n. 1, p. 200-213, 2005.
- SUROWSKY, B.; FROHLING, A.; GOTTSCHALK, N.; SCHLUTER, O.; KNORR, D. Impact of cold plasma on *Citrobacter freundii* in apple juice: Inactivation kinetics and mechanisms. **International Journal of Food Microbiology**, v. 174, 63–71, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p., 2004.
- TEREFE, N. S.; GAMAGE, M.; VILKHU, K.; SIMONS, L.; MAWSON, R.; VERSTEEG, C. The Kinetics of Inactivation of Pectin Methylsterase and Polygalacturonase in Tomato Juice by Thermosonication. **Food Chemistry** v.117, n.1, p. 20-27, 2009.
- TIWARI, B. K.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P. J.; O'DONNELL, C. P. Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 17, p. 598–604, 2010.
- TORRES, E. F.; BAYARRI, S.; SAMPEDRO, F.; MARTÍNEZ, A.; CARBONELL, J. V. Improvement of the Fresh Taste Intensity of Processed Clementine Juice by Separate Pasteurization of Its Serum and Pulp. **Food Science and Technology International** v. 14, n.6, p. 525-529, 2008.
- TRIBESS, T. B.; TADINI, C. C. Inactivation Kinetics of Pectin Methylsterase in Orange Juice as a Function of pH and Temperature/Time Process Conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture** v. 86(9), p. 1328-1335, 2006.
- USDA. **Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) Procedures for the Safe and Sanitary Processing and Importing of Juices: Final Rule**. Federal Register, 66, 6138-6202, 2015.
- VALDRAMIDIS, V. P.; CULLEN, P. J.; TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P. Quantitative Modelling Approaches for Ascorbic Acid Degradation and Non-Enzymatic Browning of Orange Juice during Ultrasound Processing. **Journal of Food Engineering** v. 96, n. 3, p. 449-45, 2010.
- VAN LOEY, A.; VERACHTERT, B.; HENDRICKX, M. Effects of High Electric Field Pulses on Enzymes. **Trends in Food Science and Technology** v.12, n.3-4, p. 94-102, 2001.
- VEGA-MERCADO, H.; MARTÍN-BELLOSO, O.; QIN, B. L.; CHANG, F. J.; GÓNGORA-NIETO, M. M.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; SWANSON, B. G. Non-thermal food preservation: pulsed electric fields. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, p. 151-156, 1997.
- WALKLING-RIBEIRO, M.; NOCI, F.; RIENER, J.; CRONIN, D. A.; LYNG, J. G.; MORGAN, D. J. The Impact of Thermosonication and Pulsed Electric Fields on *Staphylococcus Aureus* Inactivation and Selected Quality Parameters in Orange Juice. **Food and Bioprocess Technology** v.2, n.4, p. 422- 430, 2009.

WU, J.; GAMAGE, T. V.; VILKHU, K. S.; SIMONS, L. K.; MAWSON, R. Effect of Thermo-sonication on Quality Improvement of Tomato Juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** v. 9, n.2, p. 186-195, 2008.

YAMASHITA, F. Produtos de acerola: estudo da estabilidade de vitamina C. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 92-94, 2003.

ZIUZINA, D.; PATIL, S.; CULLEN, P. J.; KEENER, K. M.; BOURKE, P. “Atmospheric Cold Plasma Inactivation of Escherichia Coli in Liquid Media inside a Sealed Package.” **Journal of applied microbiology** v.114, n.3, p.778–87. Retrieved November 18, 2013.

ZIUZINA, D.; PAITI, P.; CULLEN, P. J.; KEENER, K. M.; BOURKE, P. Atmospheric cold plasma inactivation of Escherichia coli, Salmonella enterica serovar typhimurium and Listeria monocytogenes inoculated on fresh produce. **Food Microbiology**. v. 42, p. 109-116, 2014.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

No capítulo de materiais e métodos serão apresentados os métodos analíticos das análises de vitaminas e outras propriedades. O detalhamento do processamento em ultrassom e plasma serão descritos nos capítulos 4 e 5.

#### **3.1 Polpa de acerola**

As polpas de acerola foram adquiridas da Kipolpa®, comércio varejista de Fortaleza, Ceará. O processamento das polpas foi feito somente pela prensagem da acerola sem adição de aditivos e posteriormente congelamento.

As amostras foram preparadas utilizando polpas de acerola na proporção de 1:1 com água para a obtenção de suco.

##### **3.1.1 Frutoligossacarídeo**

Para o suco de acerola prebiótico houve a adição de 2% de frutoligossacarídeo (4g/200mL) da empresa Siba ingredientes ® nas amostras.

#### **3.2 Método analítico**

##### **3.2.1 Vitaminas do complexo B**

Segundo a metodologia proposta por JEDLIČK A. e KLIMEŠ. J. (2005), em um tubo de ensaio foi adicionado 1 mL de suco de acerola sonificado com 1 mL de solução 0,25M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, para digestão (decompor) possíveis interferentes das vitaminas e em seguida foi levado para banho maria a 70°C por 30 minutos. Após esse tempo, as amostras foram resfriadas em banho de gelo, em seguida filtradas. A leitura da absorbância foi lida em espectrofotômetro com os seguintes comprimentos de onda: para a vitamina B1 e B2 (254nm), para a B3 (265nm), para a B5 (215nm) e B6 (716nm).

### **3.2.2 Vitaminas A, D, E e carotenoides totais**

Conforme a metodologia de Rizzolo A. e Polesello S. (1992), em um tubo de ensaio, foram adicionados 1 mL de amostra de suco sonificado de acerola com 1mL de solução de 0,50M de NaOH, que permaneceram em banho maria a 70°C por 30 min, em seguida foram resfriadas em banho de gelo. Depois foi adicionado 5 mL de Hexano, agitadas por 30 segundos e em seguida somente a fase superior suspensa, com hexano, foi lida em espectrofotômetro com os seguintes comprimentos de onda: Para vitamina A (325 nm), vitamina D (254 nm) e vitamina E (215 nm), carotenoides (452 nm).

### **3.2.3 Vitamina C**

Segundo a metodologia proposta por SELIMOVIĆ A., SALKIĆ M. (2011) com adaptações, 1 mL da amostra foi centrifugada a 3000 rpm por 5 minutos. Após centrifugação, foi adicionado a 10 µL do sobrenadante da amostra de suco de acerola sonificado, 3 mL de oxalato de sódio, em seguida foram agitadas e a leitura da absorbância da amostra foi lida em espectrofotômetro em 266 nm.

### **3.2.4 Compostos Fenólicos**

De acordo com a metodologia de Folin Ciocalteus (1927), foi utilizado 0,1 mL da amostra de suco de acerola sonificado, 0,2 mL de solução Folin-Ciocalteu e 2 mL de água. Após 3 minutos de reação, foi adicionado 1 mL de carbonato de sódio, agitado rapidamente e lida a absorbância em 765 nm em espectrofotômetro. A quantidade de fenólicos totais foi expressa em miligramas ácido gálico/L a partir de uma curva de calibração com solução de ácido gálico.

### **3.2.5 Capacidade antioxidante por DPPH, ABTS e FRAP**

De acordo com a metodologia de Bran-Williams, Cuvelier e Berset, (1995) com adaptações, a determinação da capacidade antioxidante por DPPH foi feita utilizando 50 µL da amostra de suco de acerola sonificado diluído em 1:100 com 950 µL de solução de DPPH e lido em um comprimento de onda de 517 nm a 25°C por 10 minutos em espectrofotômetro. A curva de calibração foi feita com solução de trolox e os resultados expressos em mg/mL de amostra. Para o branco das amostras, foi utilizado metanol.

De acordo com a metodologia de Re et. al., (1999) com adaptações, foi utilizada 50 µL da amostra de suco de acerola sonificado diluído em 1:100 com 950 µL de solução de ABTS (0,096 g ABTS diluído com 25 mL de água) e lido em um comprimento de onda de 734 nm a 25°C por 15 minutos em espectrofotômetro. A curva de calibração foi feita com solução de trolox e os resultados expressos em mg/mL de amostra. Para o branco das amostras, foi utilizado 0,5 mL álcool: 0,5 mL água.

De acordo com a metodologia de Benzie e Strain (1996), a determinação da capacidade antioxidante por FRAP foi feita utilizando 50 µL da amostra de suco de acerola sonificado diluído em 1:100 com 950 µL de solução de TPTZ (0,0789 g de TPTZ diluído com 0,04 M de HCL) e lido em um comprimento de onda de 593 nm a 37°C por 15 minutos em espectrofotômetro. A curva de calibração foi feita com solução de ácido ascórbico e os resultados expressos em mg/mL de amostra. Para o branco das amostras, foi utilizado água.

### ***3.2.6 Concentração de peróxido de hidrogênio***

Segundo a metodologia de Ovenston e Rees (1950), após centrifugação da amostra, a determinação foi feita com 0,5 mL de amostra com 0,5 mL de Iodeto de potássio e lido em espectrofotômetro em um comprimento de onda de 390 nm. A água destilada foi utilizada como branco para as amostras.

### ***3.2.7 pH***

O pH das amostras de suco de acerola foi medido em um pHmetro digital da marca Lida® calibrado com soluções tampão comerciais de pH 7,0 e 4,0 a uma temperatura de 23°C.

### ***3.2.8 Sólidos solúveis totais (°Brix)***

Para as medidas de °Brix foi utilizado um refratômetro de bancada da marca Hanna®. O prisma do instrumento foi calibrado e lavado com água destilada e depois cada análise foi repetida três vezes para cada tratamento.



### **3.2.9 Cor**

A cor das amostras de suco foram medidas utilizando um colorímetro da marca Konica Minolta®. Os parâmetros de cor utilizados foram L\* (Luminosidade), c\* (chroma) e h (ângulo de tonalidade). Cada análise foi repetida 5 vezes para cada tratamento.

### **3.2.10 Valor de nuvem**

Para esta análise, 10 mL da amostra foi centrifugada a 3000 rpm por 5 minutos. A determinação foi feita em um espectrofotômetro (ThermoScientific® - Evolution 201) no qual o sobrenadante foi lido a 766 nm e água destilada foi utilizada como branco das amostras.

### **3.2.11 Atividade Enzimática POD e PAX**

Para a determinação da atividade de peroxidase a amostra foi extraída com 10mL de tampão fosfato pH 7,0 com PVP 1 % w/v, sendo o sobrenadante coletado para análise após centrifugação.

Para a determinação da POD, de acordo com o método de Matsuno e Uritani (1972), foi adicionado 600uL desse extrato, 1 mL de tampão fosfato-citrato pH 5,0 com guaiacol e 100uL de peróxido de hidrogênio 0,3%. Ambos os testes foram realizados em um espectrofotômetro e lido em 470 nm a cada 1 min por 10 min.

Segundo Nakano e Asada (1980), para a determinação da atividade de ascorbato oxidase, 1 mL de amostra foi adicionado a 10 mL de tampão fosfato pH 7.0 com EDTA 0,1 mol/L em seguida ficou mantido em geladeira a 4°C por 30 minutos. Para cada leitura foi adicionado 0,3 mL de amostra, 1,10 mL de tampão fosfato pH 7,0, 0,05 mL solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% e 0,05 ml de solução de ácido ascórbico (0,13g de ácido ascórbico em 50 mL de água), agitou-se rapidamente e a absorbância foi lida a 265nm em espectrofotômetro a cada 30 segundos por 5 minutos.

## REFERÊNCIAS

BENZIE, I. F. F. An automated, specific, spectrophotometric method for measuring ascorbic acid in plasma (EFTSA). **Clinical Biochemistry**, Winnipeg, v. 24, p. 111-116, 1996.

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, P. 25–30, 1995.

FOLIN, O.; CIOCALTEAU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **Journal of Biological Chemistry Baltimore**, v.73, p.627, 1927.

JEDLICKA, A., E KLIMES, J. Determination of water- and fat-soluble vitamins in different matrices using high-performance liquid chromatography. **Chemical Papers**, n.59, p. 202–222, 2005.

MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidases isozymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black rot. **Plant & Cell Physiology**, v.13, p. 1091–1101, 1972.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Spinach chloroplasts scavenge hydrogen peroxide on illumination. **Plant Cell Physiology**, v. 21, p. 295–307, 1980.

OVENSTON, T. C. J.; REES, W. T. The Spectrophotometric determination of small amounts of hydrogen peroxide in aqueous solutions. **Analyst**, v.75, p. 204-208, 1950.

REIN, M. J., HEINONEN, M. Stability and enhancement of berry juice color. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n.10, 3106 e 3114, 2004. <http://dx.doi.org/10.1021/jf035507i>.

RIZZOLO, A.; POLESELLO, S. Review Chromatographic determination of vitamins in foods, p. 624, 1992.

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.

## **4 EFEITO DO PROCESSAMENTO ULTRASSÔNICO NO SUCO DE ACEROLA E SUCO DE ACEROLA PREBIÓTICO.**

Este capítulo discorre sobre o processamento ultrassônico do suco de acerola e suco de acerola prebiótico (com adição de frutoligossacarídeo - FOS) e seus efeitos durante o processamento aplicado.

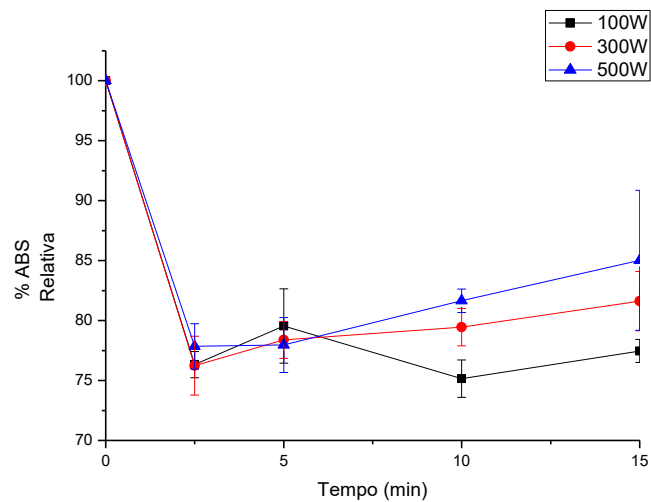
### **4.1 Processamento do suco de acerola em ultrassom**

Foram utilizados para obtenção de suco, 100 mL de polpa com mais 100 mL de água (1:1), para diluição do suco em béquer encamisado afim de manter estável a temperatura do sistema (remover calor durante o processamento). Para o estudo de potência 100, 300 e 500W, temperatura 10, 25 e 40°C e tempo 2,5 a 15 min, foi feito um planejamento experimental tipo composito central e feito um estudo cinético nos tempos de 2.5, 5, 10 e 15 minutos de processamento. Para o suco de acerola prebiótico houve a adição de 2% de frutoligossacarídeo (4g/200mL) da empresa Siba Ingredientes® nas amostras sonificadas.

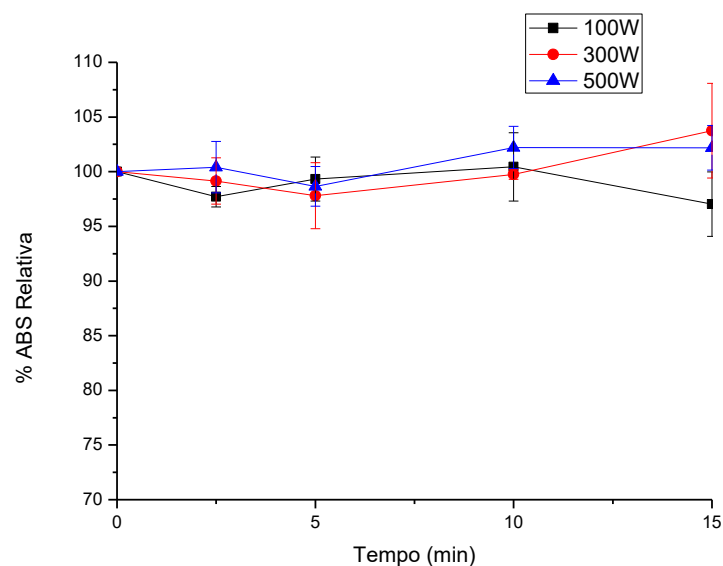
### **4.2 Resultados e discussão**

#### **4.2.1 Vitaminas B1 e B2**

Com o aumento da temperatura no estudo do suco de acerola sonificado, nas Figuras (4.1, 4.2) foi observado que nas temperaturas de 10 e 25 °C o suco se comportou de maneira bem similar, já na temperatura mais elevada 40 °C observamos que não houve grandes oscilações, ou seja, a concentração de vitaminas nas amostras permaneceu praticamente constantes com o aumento de temperatura.



**Figura 4.1** Vitaminas B1 e B2 em amostra de suco de acerola a 10°C.



**Figura 4.2** Vitaminas B1 e B2 em amostra de suco de acerola a 40°C.

De acordo com a Tabela 4.1, a temperatura foi a mais significativa. No caso deste parâmetro, quanto maior o aumento de temperatura maior será a quantidade de vitaminas no meio com maior significância tanto linear quanto quadrática.

Quando verificamos o comportamento das amostras em relação às potências aplicadas no estudo, verificamos que a maior potência (500 W) apresenta uma menor perda de vitamina implicando uma maior disponibilidade de B1 e B2 no meio. Observamos uma maior perda a uma menor potência estudada de 100 W. Analisando estatisticamente a potência (Tabela 4.1),

ela possui mais de 95% de significância. Então, estatisticamente, quanto maior potência teremos uma menor perda.

Nos primeiros minutos de processamento, foi observado uma queda em todas as potências estudadas 100 W, 300 W e 500W. Isso pode ser explicado pelo ultrassom degradar diretamente as vitaminas B1 e B2 contidas no suco ou acionando algum composto e este degradar a vitamina no meio. A partir de 10 minutos de processamento, nas temperaturas de 10 °C e 25 °C todas as amostras tendem a aumentar a concentração de vitaminas presentes, que pode ser explicado pelas mesmas estarem ligadas na parede celular ou apoenzima (BALL, 2006) e a amostra necessitar de um pouco mais de tempo para haver esta liberação. Porém a taxa de degradação das vitaminas B1 e B2 nas temperaturas de 10 °C e 25 °C é bem maior, sendo interessante utilizar o ultrassom na temperatura de 40 °C onde efeitos menores ocorrem na amostra, já que em temperaturas elevadas o efeito de cavitação é comprometido pois a energia efetiva dada ao sistema é menor.

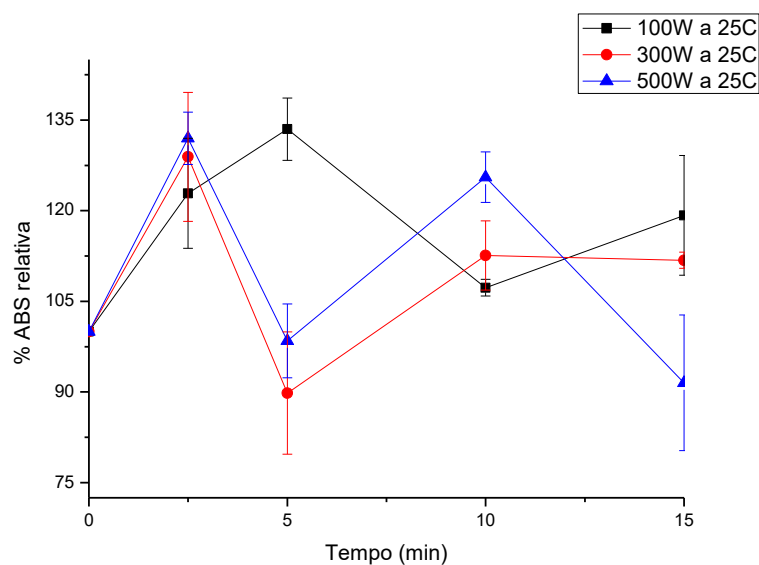
**Tabela 4.1** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina B1 e B2.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	<b>18,83</b>	<b>1,26</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	<b>22,82</b>	<b>2,29</b>	<b>0,0000</b>
POT (L)	<b>5,75</b>	<b>1,29</b>	<b>0,0001</b>
POT (Q)	-1,59	2,21	0,4796
Tempo (L)	1,45	1,37	0,2983
Tempo (Q)	-4,30	2,51	0,0994
Temperatura/POT	1,55	1,53	0,3192
Temperatura/Tempo	<b>-4,02</b>	<b>1,61</b>	<b>0,0194</b>
POT/Tempo	<b>5,73</b>	<b>1,68</b>	<b>0,0021</b>

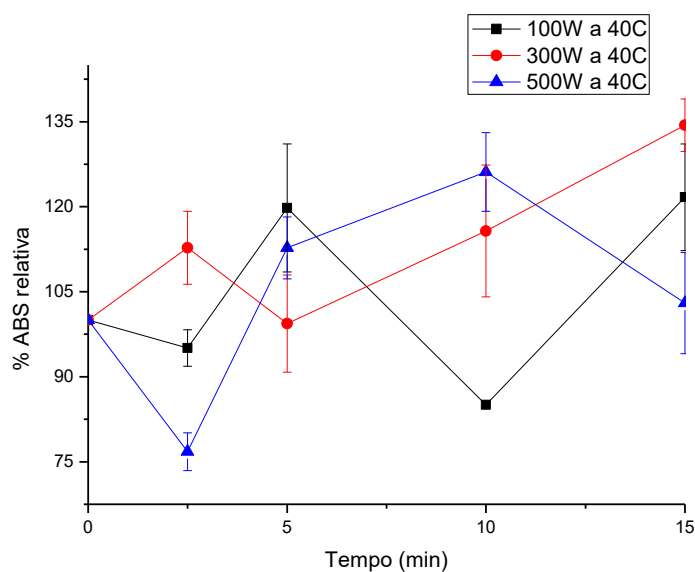
Quando verificamos o comportamento das amostras em relação à temperatura aplicada no suco prebiótico, verificamos que nas temperaturas de 10 e 40°C (Figuras 4.3 e 4.4) as amostras de suco se comportam de maneira bem similar, ou seja, aumentam a quantidade de vitamina nos primeiros 2,5 minutos apenas nas potências de 100 e 300W. Ao final do experimento a quantidade de vitamina B1 e B2 aumentou até um valor de 35%. Já na temperatura de 40°C, o comportamento é um pouco diferente, nos primeiros 2,5 minutos a quantidade de vitamina aumenta em todas as potências utilizadas, porém a quantidade final de vitamina pode chegar a um decréscimo de até 15%. Neste caso é interessante utilizar o

ultrassom na temperatura de 40°C onde teremos maior quantidade final de vitamina B1 e B2. Comparado ao estudo com as amostras sem o frutoligossacarídeo, nas temperaturas de 10 e 25°C a quantidade final de vitamina decresce, e na temperatura de 40°C as amostras se apresentam praticamente inalteradas.

O estudo envolvendo as potências aplicadas no estudo, verificamos que na menor potência utilizada, a perda é menor da vitamina estudada e quanto maior potência (500W) maior perda. Este fenômeno é o inverso do que ocorre nas amostras sem o frutoligossacarídeo. A temperatura, potência e tempo não apresentaram significância.



**Figura 4.3** Vitamina B1 e B2 em suco de acerola com FOS a 25°C



**Figura 4.4** Vitamina B1 e B2 em suco de acerola com FOS a 40°C

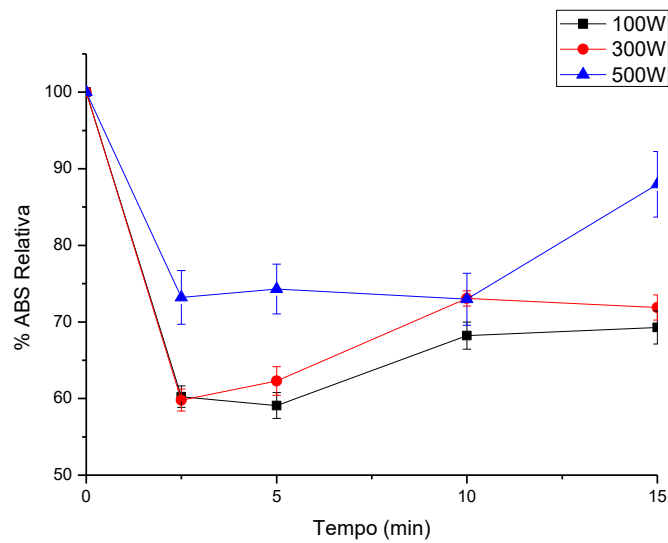
As variáveis estudadas mais importantes foram a temperatura e potência. Ou seja no suco de acerola sem adição de FOS, nas menores temperaturas foram observadas perdas de vitaminas maiores. Já quando adicionamos o frutoligossacarídeo, este diminuiu as perdas ao longo do processamento.

#### **4.2.2 Vitamina B3**

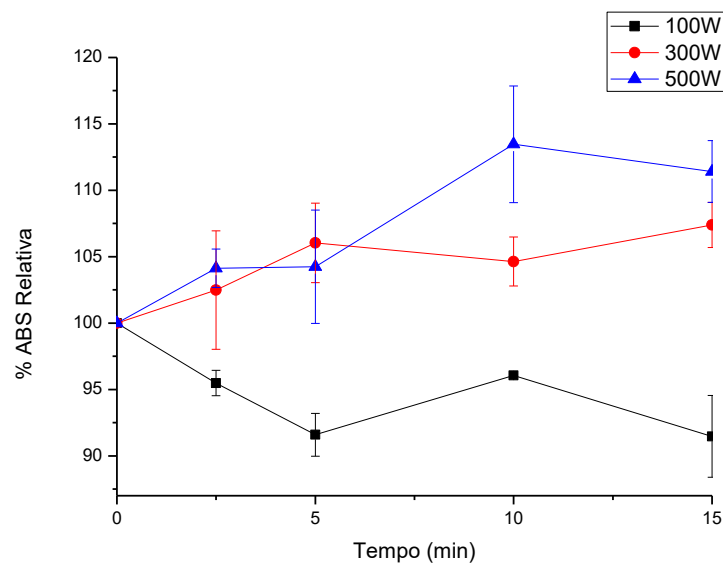
No estudo da vitamina B3, também conhecida como niacina, é verificado o mesmo comportamento. Nas Figuras 4.5 e 4.6 com exceção da amostra na maior potência em estudo (500W), na temperatura de 25 e 40°C sua perda é bem menor comparado ao estudo a 10°C. No estudo da estimativa de efeitos, a temperatura apresenta-se mais significativa que os outros parâmetros estudados, tanto linear quanto quadrática. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de niacina no meio.

No caso do comportamento das amostras em relação as potências estudadas observamos uma menor perda para a maior potência em estudo (500W), principalmente na maior temperatura estudada (40°C), ou seja, uma maior disponibilidade de niacina no meio, e uma maior perda de vitamina na menor potência estudada (100W) em todas as temperaturas analisadas. De acordo com a Tabela 4.2, estatisticamente a potência apresenta-se com 95% de significância ara este estudo.

Observando os tempos para este estudo, para todas as Figuras 4.5 e 4.6, com exceção das potências de 300 e 500W na temperatura de 40°C, nos primeiros cinco minutos é observado uma queda da quantidade de vitamina no meio em todas as amostras estudadas, a partir dos dez minutos a concentração de vitamina nas amostras tendem a aumentar. Na temperatura de 40°C onde as mesmas só tendem a aumentar desde os primeiros minutos de experimento, com exceção da potência de 100W. Neste caso, a vitamina pode estar ligada a parede celular ou a apoenzima necessitando de um tempo maior para sua liberação, como também temperaturas maiores.



**Figura 4.5** Vitamina B3 em amostra de suco de acerola a 25°C.



**Figura 4.6** Vitamina B3 em amostra de suco de acerola a 40°C.

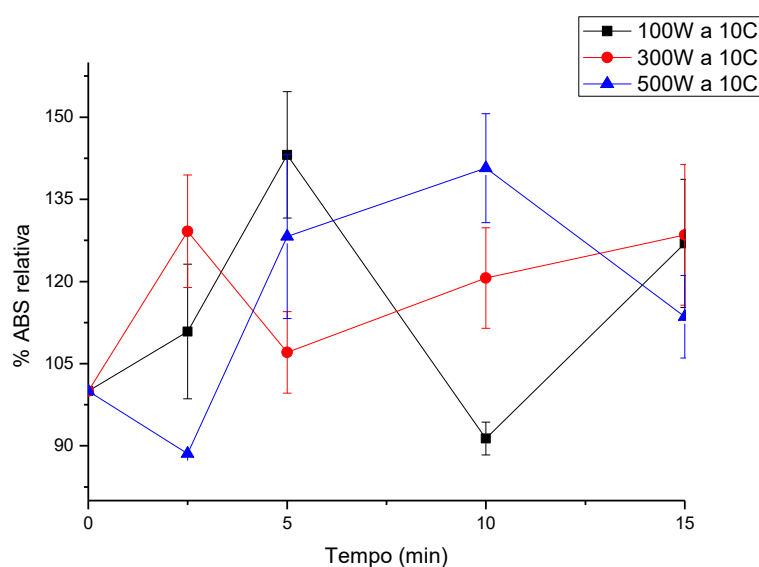
No estudo da vitamina B3 para o suco de acerola prebiótico, nas Figuras 4.7 e 4.8 estas apresentam similaridade. A menor perda de vitamina B3 ocorre na temperatura de 10°C na potência de 300W. De acordo com a Tabela 4.2, a temperatura é estatisticamente significativa. Comparando as amostras sem o frutoligossacarídeo, os resultados são inversos já que a maior quantidade de niacina no meio se dá numa temperatura menor nesse estudo.

Quando estudamos as potências aplicadas, verificamos que a potência de 300W é a que se apresenta com menor perda em todas as temperaturas analisadas, já nas amostras sem o



frutoligossacarídeo a menor perda se dá na maior potência do experimento (500W). De acordo com a Tabela 4.2, a potência não se apresenta significativa neste estudo.

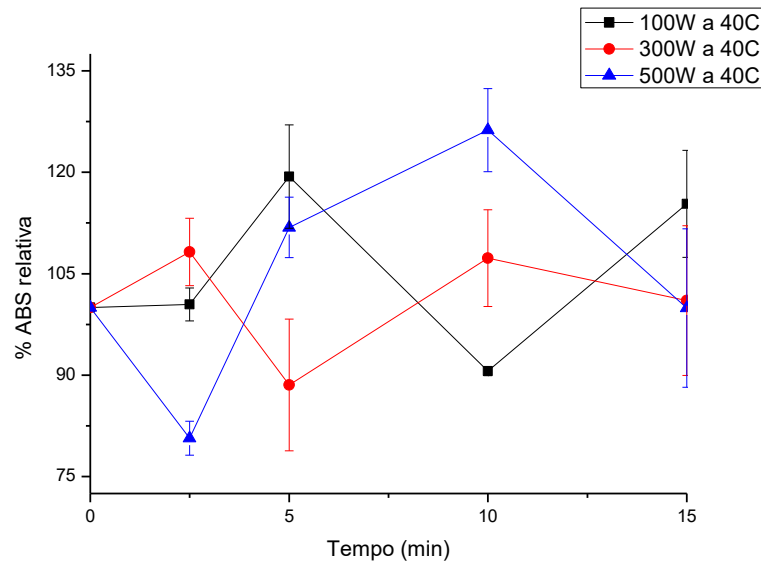
Para o tempo, é verificado que nos primeiros 2,5 minutos há um aumento da quantidade de vitamina a 10 e 40°C nas potências de 100 e 300W. Já na temperatura de 25°C todas as potências sofrem aumento nos 2,5 minutos. Há um pico de perda maior de vitamina na potência de 500W nas mesmas temperaturas e tempos propostos de aumento de vitamina. De acordo com a Tabela 4.3, tempo não se apresenta significativa para este estudo.



**Figura 4.7.** Vitamina B3 em suco de acerola com FOS a 10°C

**Tabela 4.2** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina B3.

Variáveis	Efeitos	Erro	P
Temperatura (L)	<b>38,07</b>	<b>1,86</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	<b>26,77</b>	<b>3,39</b>	<b>0,0000</b>
POT (L)	<b>9,04</b>	<b>1,91</b>	<b>0,0000</b>
POT (Q)	-3,09	3,27	0,3533
Tempo (L)	2,20	2,02	0,2859
Tempo (Q)	-4,92	3,72	0,1968
Temperatura/POT	<b>6,70</b>	<b>2,26</b>	<b>0,0064</b>
Temperatura/Tempo	-1,89	2,38	0,4345
POT/Tempo	2,21	2,48	0,3818



**Figura 4.8** Vitamina B3 em suco de acerola com FOS a 40°C

**Tabela 4.3** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina B3 em suco prebiótico de acerola

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-16,06</b>	<b>5,93</b>	<b>0,0117</b>
Temperatura (Q)	<b>-27,83</b>	<b>10,78</b>	<b>0,0158</b>
POT (L)	-1,61	6,09	0,7939
POT (Q)	-4,44	10,40	0,6730
Tempo (L)	5,92	6,42	0,3654
Tempo (Q)	-2,60	11,83	0,8273
Temperatura/POT	0,44	7,18	0,9521
Temperatura/Tempo	-2,00	7,58	0,7937
POT/Tempo	11,12	7,90	0,1709

A vitamina B3 se apresentou bem similar as vitaminas B1 e B2 estudadas. A variável estudada mais importante foi a temperatura e potência. Ou seja, no suco de acerola sem adição de FOS, nas menores temperaturas foram observadas perdas maiores. Já quando adicionamos o frutoligossacarídeo, este diminuiu as perdas ao longo do processamento e a variável mais importante para o estudo foi somente a temperatura.

### 4.2.3 Vitamina B5

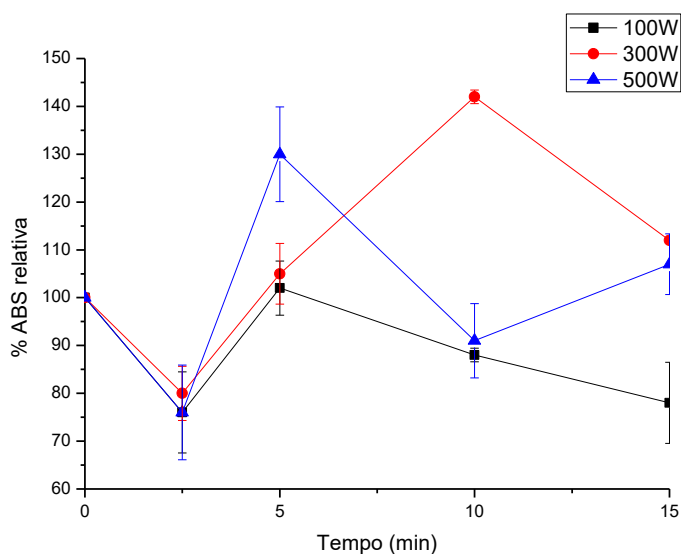
No estudo da vitamina B5 também conhecida como ácido pantotênico, o comportamento da temperatura e do tempo é observado da mesma forma para as vitaminas anteriores do estudo B1, B2 e B3.

No suco de acerola sonificado com frutoligossacarídeo, o comportamento da temperatura e do tempo é observado da mesma forma para as vitaminas anteriores do estudo B1, B2 e B3. De acordo com a estimativa de efeitos, o único parâmetro que se apresentou significativo foi a temperatura, mesmo comportamento sem o frutoligossacarídeo.

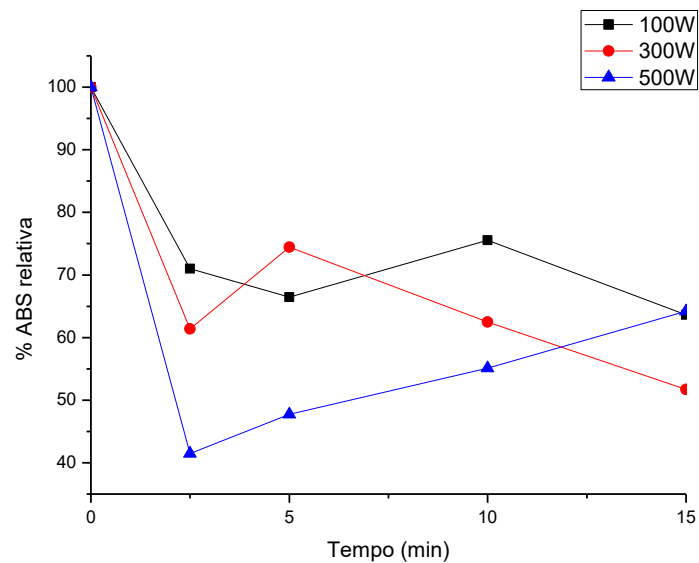
No estudo da potência, verificamos que a maior quantidade de vitamina B5 no meio se dá na potência de 500W a 10°C. A maior perda se dá na temperatura de 25°C a 100W e na temperatura de 40°C a quantidade de vitamina B5 permanece praticamente inalterada no final do experimento. A potência sozinha não se apresenta significativa nesse estudo, apenas a relação dela com o tempo que se apresenta significativa.

### 4.2.4 Vitamina A

No estudo da vitamina A para o parâmetro de temperatura no suco de acerola sonificado, verificamos que nas Figuras 4.9 e 4.10 nos primeiros dois minutos e meio de processo, todas as amostras decrescem em sua quantidade de vitamina A. No gráfico de menor temperatura 10°C a amostra tende a ter uma menor perda. Quanto mais baixa a temperatura, menor perda de vitamina A, já que é uma vitamina lipossolúvel e termossensível.



**Figura 4.9** Vitamina A em amostra de suco de acerola sonificado a 10°C



**Figura 4.10** Vitamina A em amostra de suco de acerola sonificado a 25°C

De acordo com a Tabela 4.4 estatisticamente a temperatura possui maior significância nesse processo, acima de 95%.

**Tabela 4.4** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina A.

Variáveis	Efeitos	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-31,58</b>	<b>6,16</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	<b>44,21</b>	<b>11,21</b>	<b>0,0005</b>
POT (L)	4,79	6,33	0,4561
POT (Q)	-8,85	10,81	0,4205
Tempo (L)	5,17	6,68	0,4459
Tempo (Q)	-21,66	12,29	0,0897
Temperatura/POT	-0,45	7,47	0,9523
Temperatura/Tempo	-6,29	7,88	0,4317
POT/Tempo	7,54	8,21	0,3669

Quando observou o estudo da potência, na temperatura de 10°C todas as potências tenderam a menor perda de vitamina A, com destaque a potência de 300W que chega a quase 40% de liberação no tempo de dez minutos. Já na Figura 4.11, as potências se comportam com similaridade. A potência não apresenta significância nesse estudo. Comparando com o as

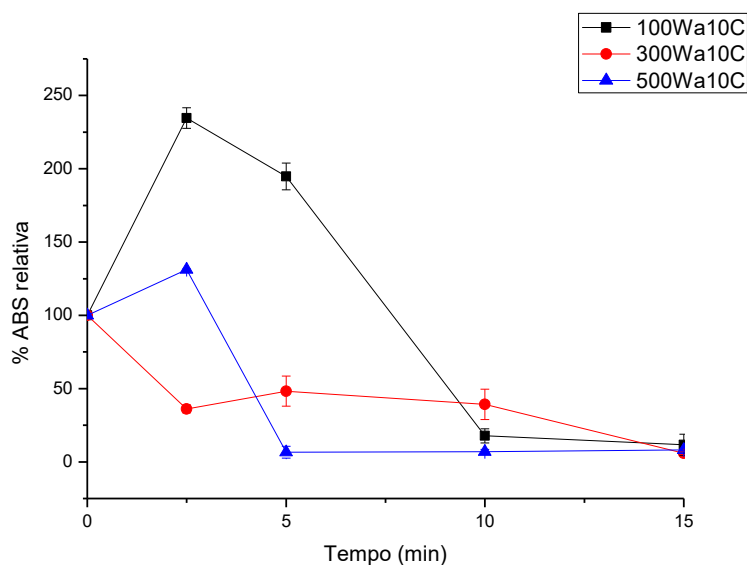
vitaminas do complexo B, o mesmo tem comportamento oposto já que quanto maior temperatura a degradação se torna menor.

No caso do comportamento das amostras em relação ao tempo estudado, nas temperaturas de 25 e 40°C apresentam comportamento similar onde há uma queda numa quantidade de retenção de 40 a 80% nos primeiros minutos onde se observa perda de vitamina e na temperatura de 10°C há também queda, mas a diferença é que há uma liberação de vitamina nas potências de 100 e 300W. Ou seja, neste caso para a vitamina A quanto menor temperatura e menor potência aplicada, há uma menor perda de vitamina. O tempo não apresentou significância nesse estudo.

No estudo do parâmetro de temperatura para a vitamina A no suco de acerola sonificado com frutoligossacarídeo, verificamos que na Figura 4.11 nos primeiros dois minutos e meio de processo, as amostras aumentam a concentração de vitamina A, e na temperatura de 25°C (Apêndice) a maior concentração se dá no tempo de 5 minutos na potência de 300W. Neste estudo, a menor perda se dá na temperatura de 25°C na potência de 100W. No caso das amostras sem frutoligossacarídeo, a menor perda foi na menor temperatura (10°C). De acordo com a Tabela 4.5, apenas a temperatura e o tempo se apresentam significantes neste estudo.

Quando observamos o estudo da potência, na temperatura de 25 e 40°C na potência de 300W nos tempos de 2,5 e 5 minutos vão de 50 a 90% de liberação de vitamina A. Caso bem similar ao que ocorre com as amostras sem frutoligossacarídeo. Já a potência de 500W em todas as temperaturas, se mostrou com maior perda de até 100% de vitamina a 10°C.

Similar ao que ocorre nas amostras sem frutoligossacarídeo em que a retenção de vitamina A se dá em menores temperaturas e menores potências aplicadas, no caso das amostras com FOS, a maior retenção se deu na temperatura intermediária de 25°C e potência de 100W.



**Figura 4.11** Vitamina A em suco de acerola com FOS a 10°C

**Tabela 4.5** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina A em suco de acerola prebiótico.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	<b>204,12</b>	<b>64,79</b>	<b>0,0041</b>
Temperatura (Q)	<b>257,39</b>	<b>117,82</b>	<b>0,0381</b>
POT (L)	-10,69	66,61	0,8737
POT (Q)	-192,73	113,67	0,1019
Tempo (L)	<b>-154,32</b>	<b>70,21</b>	<b>0,0370</b>
Tempo (Q)	-39,90	129,14	0,7598
Temperatura/POT	60,79	78,55	0,4460
Temperatura/Tempo	-86,60	82,84	0,3055
POT/Tempo	39,37	86,34	0,6522

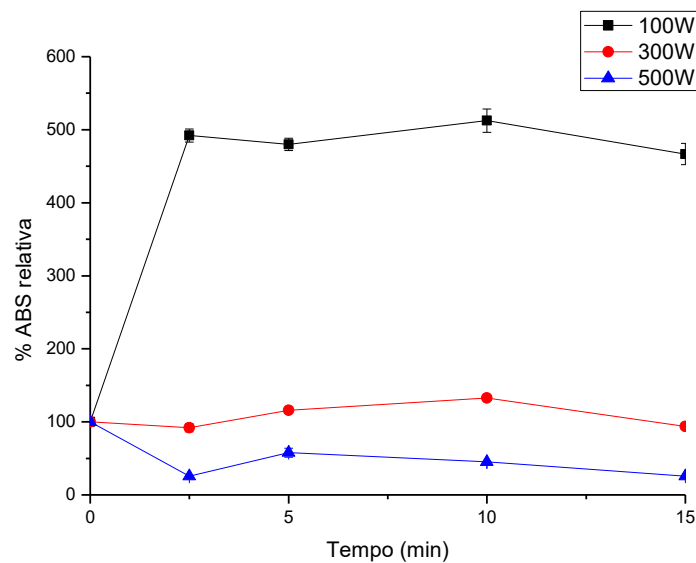
A variável estudada mais importante no suco de acerola foi a temperatura. No suco de acerola sem adição de FOS, em todos os experimentos foram observadas perdas de vitamina A, o que já era esperado por se tratar de uma vitamina lipossolúvel e nestes tipos de vitaminas, durante a aplicação do processamento ultrassônico, há formação de radicais livres durante a cavitação, esses radicais interagem e causam a diminuição da quantidade de vitamina estudada. Quando adicionamos o frutoligossacarídeo no suco, infelizmente as perdas ao longo do processamento se mantiveram.

#### 4.2.5 Pró-vitamina D

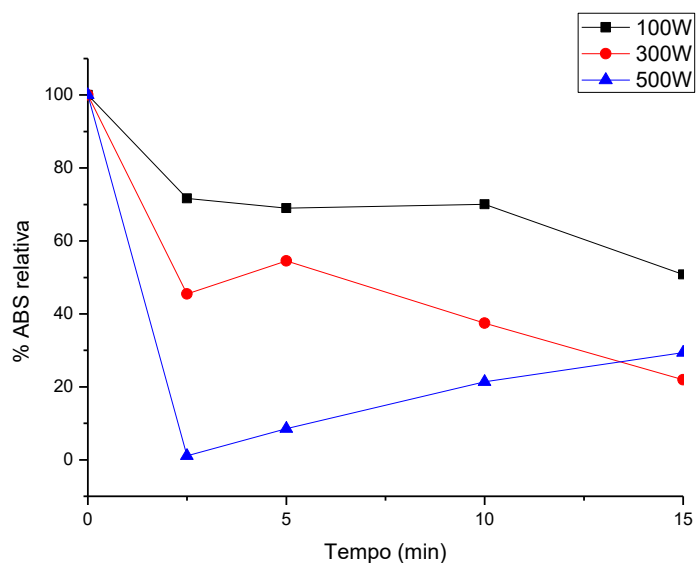
No estudo da pró-vitamina D em suco de acerola sonificado, verificamos que estatisticamente o parâmetro de temperatura possui 100% de significância. Quanto menor temperatura aplicada no processo, menor perda da vitamina estudada observada nas Figuras 4.12 e 4.13.

De acordo com a Tabela 4.6, para o parâmetro da potência, esta se comporta estatisticamente com 97% de significância, ou seja, quanto menor potência dada ao sistema, menor perda de vitamina em todas as temperaturas estudadas.

Para o estudo do tempo nas amostras de suco de acerola, as Figuras 4.12 e 4.13 se comportam de maneira bem similar no que diz respeito ao decréscimo das vitaminas nos primeiros minutos de estudo. Já para a temperatura de 10°C, Figura 4.12, para a potência de 100W nos primeiros minutos há uma disposição de vitamina no meio muito apreciável de quase 5 vezes mais que as outras potências e a mesma permanece constante até o final do experimento. O tempo não apresenta significância para este estudo.



**Figura 4.12** Pró vitamina D em suco de acerola sonificado a 10°C.



**Figura 4.13** Pró-vitamina D em suco de acerola sonificado a 25°C

**Tabela 4.6** Análise de perturbação de variáveis para a Pró vitamina D.

Variáveis	Efeitos	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-156,90</b>	<b>22,61</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	<b>201,37</b>	<b>41,13</b>	<b>0,0000</b>
POT (L)	<b>-172,32</b>	<b>23,25</b>	<b>0,0000</b>
POT (Q)	<b>90,86</b>	<b>39,68</b>	<b>0,0304</b>
Tempo (L)	-18,36	24,51	0,4604
Tempo (Q)	-44,24	45,08	0,3354
Temperatura/POT	<b>227,30</b>	<b>27,42</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura/Tempo	-5,02	28,92	0,8634
POT/Tempo	-2,75	30,14	0,9279

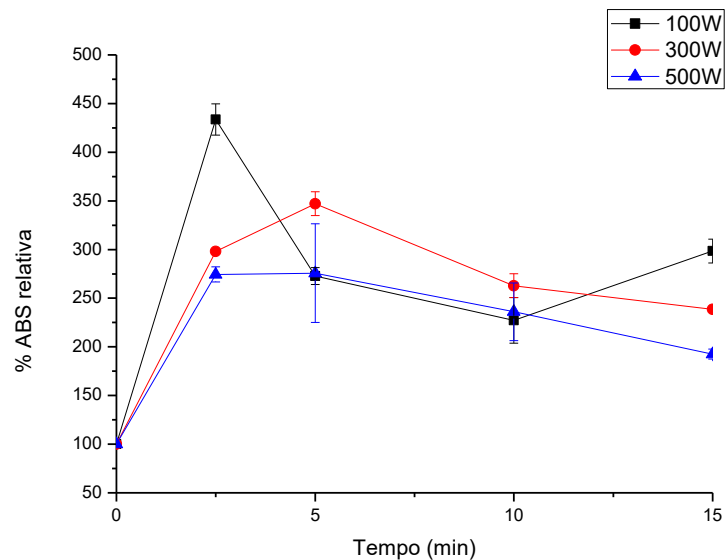
A variáveis estudadas mais importante no suco de acerola foram a temperatura e potência. No suco de acerola sem adição de FOS, em todos os experimentos foram observadas perdas, o que já era esperado por se tratar de uma vitamina lipossolúvel e nestes tipos de vitaminas, durante a aplicação do processamento ultrassônico, há formação de radicais livres durante a cavitação, esses radicais interagem e causam a diminuição da quantidade de vitamina estudada. Quando adicionamos o frutoligossacarídeo no suco, infelizmente as perdas ao longo do processamento se mantiveram, apenas a temperatura se mostrou significativa para o último experimento.



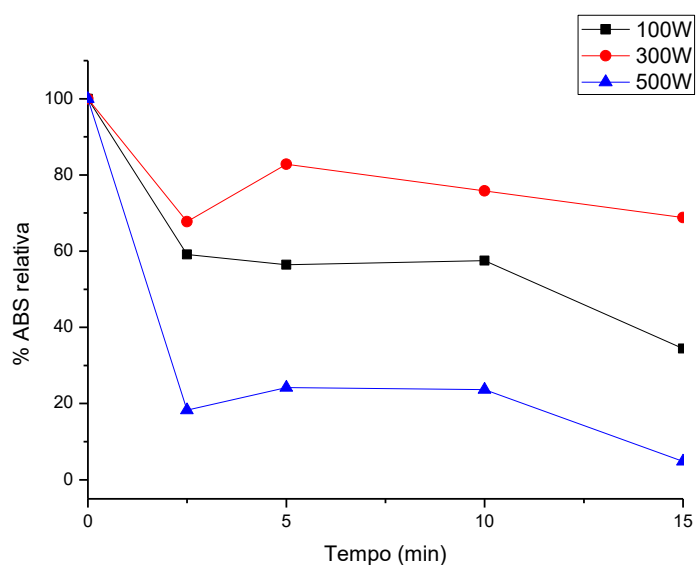
#### 4.2.6 Vitamina E

Para a vitamina E, também conhecida como tocoferol, o comportamento para o parâmetro temperatura e tempo do suco de acerola sonificado é similar as vitaminas A e pró vitamina D conforme as Figuras 4.14 e 4.15 pois são lipossolúveis e termossensíveis explicando esta ação típica. De acordo com a Tabela 4.7, estatisticamente a temperatura possui maior significância.

Observando o comportamento da potência nesse estudo para vitamina E, a mesma possui uma menor significância.



**Figura 4.14** Vitamina E em suco de acerola sonificado a 10°C



**Figura 4.15** Vitamina E em suco de acerola sonificado a 40°C

Não foi detectada vitamina E nas amostras com frutoligossacarídeo nas temperaturas de 10 e 25°C, apenas na temperatura de 40°C.

Na temperatura de 40°C observamos que há um maior aumento da concentração de vitamina na potência de 300W nos 2,5 minutos de processamento e que ao fim do experimento há uma retenção considerável de vitamina E de até aproximadamente 90% para esta mesma potência em estudo. A maior perda de vitamina E ao final do estudo foi na menor potência aplicada (100W) chegando até 97%. Já para as amostras sem frutoligossacarídeo, inversamente, a maior perda se deu na maior potência aplicada (500W) chegando até 98% ao final do experimento.

**Tabela 4.7** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina E.

Variáveis	Efeitos	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-225,00</b>	<b>14,43</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	<b>158,77</b>	<b>26,24</b>	<b>0,0000</b>
POT (L)	<b>-46,57</b>	<b>14,83</b>	<b>0,0041</b>
POT (Q)	-2,63	25,32	0,9178
Tempo (L)	<b>-39,24</b>	<b>15,64</b>	<b>0,0186</b>
Tempo (Q)	19,65	28,76	0,5004
Temperatura/POT	12,67	17,49	0,4753
Temperatura/Tempo	<b>45,05</b>	<b>18,45</b>	<b>0,0217</b>
POT/Tempo	8,95	19,23	0,6453

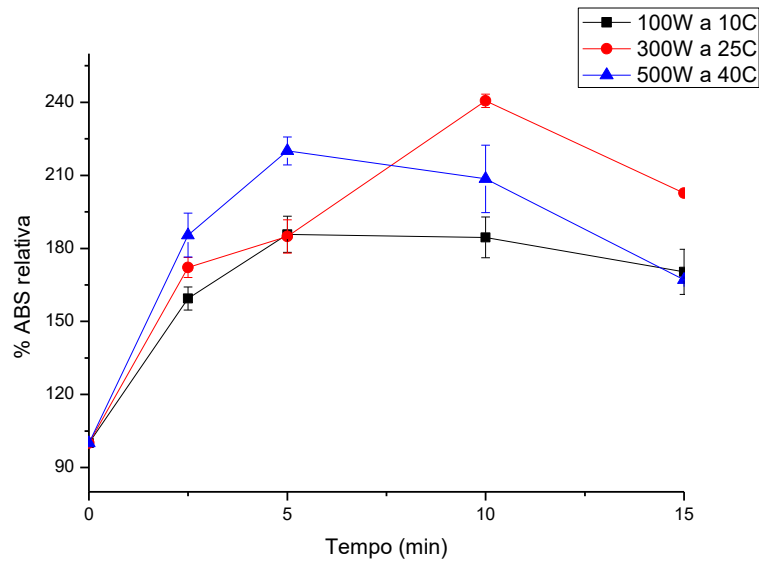
A variáveis estudadas mais importante no suco de acerola foram a temperatura e potência. No suco de acerola sem adição de FOS, em todos os experimentos foram observadas perdas, o que já era esperado por se tratar de uma vitamina lipossolúvel e nestes tipos de vitaminas, durante a aplicação do processamento ultrassônico, há formação de radicais livres durante a cavitação, esses radicais interagem e causam a diminuição da quantidade de vitamina estudada. Quando adicionamos o frutoligossacarídeo no suco, infelizmente as perdas ao longo do processamento se mantiveram.

#### **4.2.7 Carotenoides totais**

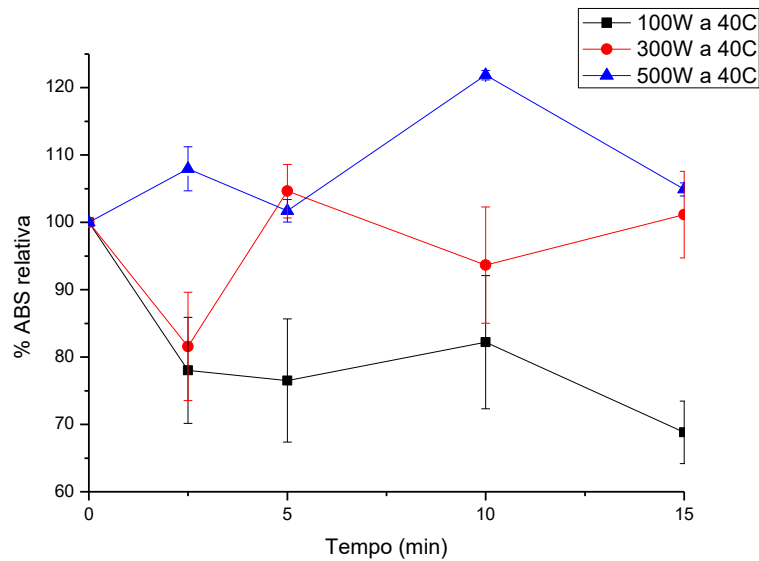
Quando estudamos a retenção de carotenoides totais na temperatura de 10°C (Figura 4.16) as amostras se comportam similares em potência e tempo. Em todas as potências estudadas a concentração de carotenoides totais aumentam com o tempo. Sabemos que nesta temperatura é onde menos reações químicas ocorrem como também a quantidade de peróxidos produzida é menor. Se retornamos a sessão de cor, veremos que nesta mesma temperatura é onde ocorre menos variações dos parâmetros de  $L^* C^* h$ , confirmando a melhor temperatura para a manutenção da quantidade de carotenoides totais como também da cor das amostras estudadas. Outra explicação para o aumento de carotenoides totais nas amostras seria a possível inativação das enzimas responsáveis pela degradação dos carotenóides devido a indução da cavitação produzida pelo choque de ondas nas amostras como também as reações sonoquímicas presentes. (DEMIRDOVEM E BAYSAL, 2008).

De acordo com Krinsky (2001), o aumento em carotenóides extraíveis pode beneficiar os consumidores preocupados com a saúde, pois estes compostos possuem inúmeras vantagens, tais como a redução do risco de doenças cardiovasculares e prevenção de câncer.

Já na temperatura de 25°C, todos os carotenoides presentes decrescem em todas as potências aplicadas. Na temperatura de 40°C (Figura 4.17), nas potências menores de 100 e 300W, eles também decrescem. Apenas na potência de 500W que a amostra teve um leve aumento inicial, mas ao final do experimento a quantidade total relativa foi praticamente igual a inicial. Explicando o fato da redução dos carotenoides totais nas temperaturas maiores de 25 e 40°C do estudo, outros autores reportam que em um aumento de temperatura e energia ultrassônica aplicada, a isomerização dos carotenóides pode ocorrer devido ao efeito elevado de cisalhamento da amostra no sistema. (SANTHIRASEGARAM et al. 2013). A temperatura e o tempo foram significantes para este estudo.



**Figura 4.17** Carotenoides totais em suco de acerola sonificado a 10°C.



**Figura 4.18** Carotenoides totais em suco de acerola sonificado a 40°C.

Na temperatura de 10°C, observou-se que há um aumento da quantidade de carotenoides totais em todas as potências utilizadas, porém a concentração deste ao final do experimento é igual a concentração inicial, ou seja, há esta temperatura temos uma manutenção dos carotenoides totais nas amostras de suco de acerola sonificado com frutoligossacarídeo. Nas amostras sem FOS, o comportamento é diferente pois a quantidade final desse nutriente é maior ao fim do experimento, ou seja, o FOS parece ter efeito protetor sobre a degradação desse nutriente.

Na temperatura de 25°C, há um decréscimo da quantidade de carotenoides totais nos 2,5 minutos nas potências de 100 e 300W, já na maior potência de estudo (500W) há aumento. Este aumento chega até 150%, e a menor perda ao final do experimento também se dá nesta mesma potência (500W) de até 35%. Similar ao que ocorre nas amostras sem FOS, onde a concentração final de carotenoides também é menor que a inicial.

Na maior temperatura desse estudo (40°C), é verificado que a maior concentração de carotenoides totais se dá na potência de 300W em 2,5 minutos de experimento. A concentração inicial é igual a concentração final desse nutriente, na potência menor de estudo (100W), nas demais potências há maior perda se dá em até 40% nas amostras em estudo. Diferente do que ocorre nas amostras sem FOS, em que a maior perda se dá na menor potência aplicada. Ao verificarmos os parâmetros de L\* C\* h das amostras com frutoligossacarídeo, é visto que são similares ao estudo sem FOS, assim é conforme as conclusões em que na menor temperatura de estudo, temos a melhor manutenção de cor e carotenoides totais em ambos os experimentos. De acordo com a Tabela 4.8, a temperatura, potência e tempo se apresentaram significantes neste estudo.

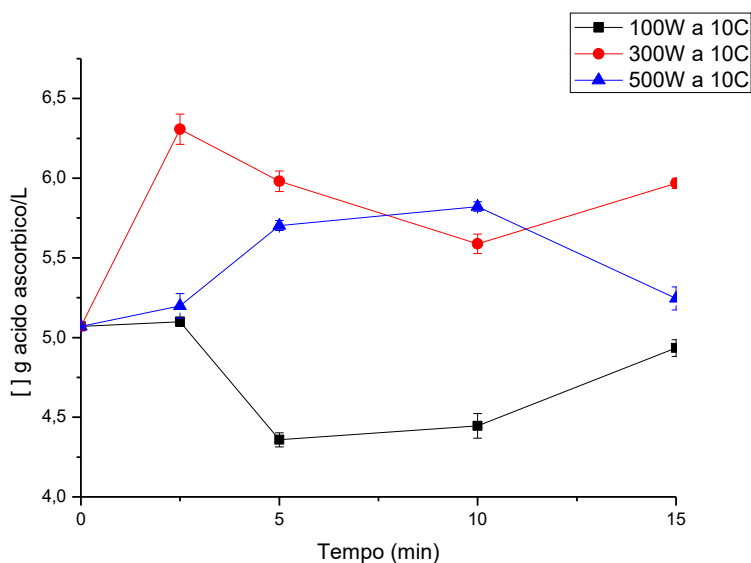
**Tabela 4.8** Análise de perturbação de variáveis para os carotenoides totais.

Variáveis	Efeitos	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-96,78</b>	<b>6,42</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	<b>114,20</b>	<b>11,69</b>	<b>0,0000</b>
POT (L)	13,30	6,61	0,0544
POT (Q)	-11,69	11,27	0,3089
Tempo (L)	3,61	6,96	0,6078
Tempo (Q)	<b>-32,83</b>	<b>12,81</b>	<b>0,0164</b>
Temperatura/POT	4,55	7,79	0,5645
Temperatura/Tempo	-2,04	8,21	0,8055
POT/Tempo	-6,11	8,56	0,4816

A variável de estudo mais importante foi a temperatura, tanto o suco com o frutoligossacarídeo, quanto sem, após o uso do ultrassom houve aumento da quantidade de carotenoides totais ao final do processamento.

#### 4.2.8 Vitamina C

Na temperatura de 10°C (Figura 4.19), a potência de 300W temos um aumento de vitamina C de 14%. Já na temperatura de 25°C, mostra-se uma retenção de até 90% na maior potência em estudo de 500W, não sendo superior a perda na temperatura de 40°C, quando a maior degradação se dá pela maior potência de 500W (40°C). Em termos gerais há uma retenção de vitamina C nas temperaturas estudadas ou mesmo uma regeneração e conseqüente manutenção dessa vitamina. O estudo de suco de maçã e limão kasturi dos respectivos autores Abid et al, (2013) e Bhat et al, (2011) é bem semelhante ao nosso estudo comparado aos teores de ácido ascórbico que os mesmos mantiveram até o final de seus estudos chegando um aumento de até 10%. Uma das explicações do aumento é que o mesmo é atribuído à eliminação de oxigênio dissolvido que é essencial para a degradação do ácido ascórbico durante a cavitação produzida durante os tratamentos de sonicação. (CHENG et al, 2007). Para o estudo da vitamina C, conhecida como ácido ascórbico no suco de acerola sonificado, de acordo com a Tabela 4.9 apenas a temperatura se mostrou significante.

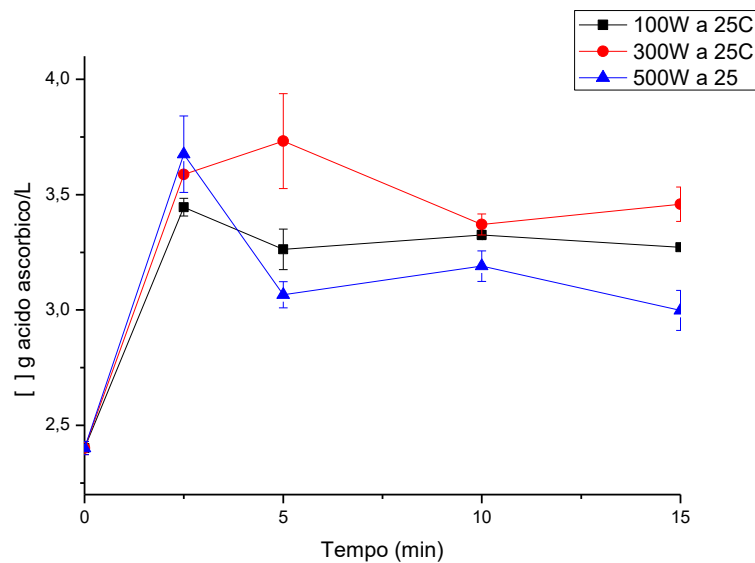


**Figura 4.19** Vitamina C em suco de acerola sonificado a 10°C

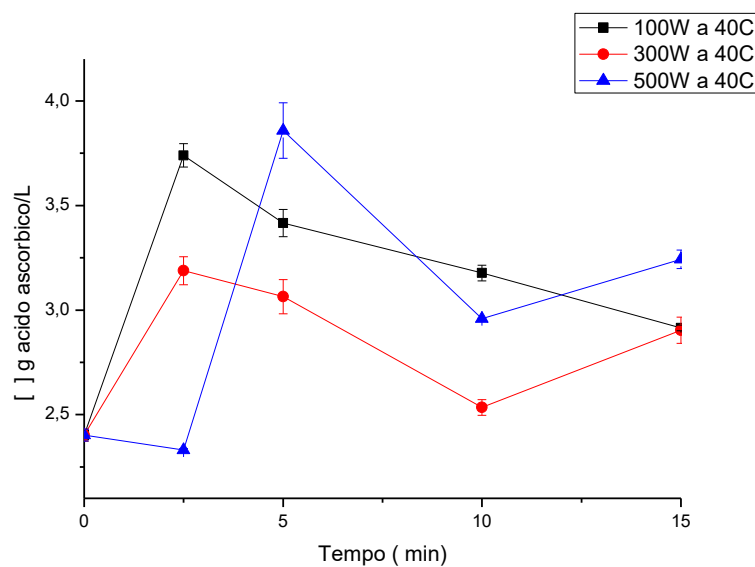
Em geral, com o aumento da temperatura há um decréscimo da vitamina C nas amostras de suco sonificado com frutoligossacarídeo (Figuras 4.20 e 4.21), com exceção da potência de 100W a 10°C e 500W a 40°C. A 40°C observamos maior quantidade de vitamina C no tempo de 2,5 minutos, assim como também ao final do experimento. Já as maiores perdas foram observadas nas potências menores de 100 e 300W de quase 100% para esta mesma temperatura.

De acordo com a Tabela 4.10, a temperatura e a potência se apresentaram significantes para este estudo.

Diferente do que ocorre nas amostras sem o frutoligossacarídeo em que há uma grande retenção de vitamina C em todas as temperaturas estudadas chegando até 50%, apenas na maior temperatura e maior potência deste estudo com frutoligossacarídeo que é verificado a maior retenção de vitamina C de até cinco vezes mais.



**Figura 4.20** Vitamina C em suco de acerola com FOS a 25°C



**Figura 4.21** Vitamina C em suco de acerola com FOS a 40°C

**Tabela 4.9.** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina C.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	<b>115,64</b>	<b>43,12</b>	<b>0,012</b>
Temperatura (Q)	115,72	78,43	0,1521
POT (L)	<b>128,08</b>	<b>44,34</b>	<b>0,0077</b>
POT (Q)	124,98	75,67	0,1106
Tempo (L)	-22,07	46,74	0,6407
Tempo (Q)	-36,14	85,97	0,6776
Temperatura/POT	<b>190,98</b>	<b>52,29</b>	<b>0,0011</b>
Temperatura/Tempo	-28,35	55,15	0,6114
POT/Tempo	-20,49	57,48	0,7242

**Tabela 4.10** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina C para suco prebiótico

Variáveis	Efeitos	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-1,42</b>	<b>0,56</b>	<b>0,0186</b>
Temperatura (Q)	-1,17	1,02	0,2643
POT (L)	-0,50	0,58	0,3934
POT (Q)	-1,60	0,99	0,1178
Tempo (L)	0,02	0,61	0,9713
Tempo (Q)	0,08	1,13	0,9418
Temperatura/POT	<b>-2,37</b>	<b>0,69</b>	<b>0,0019</b>
Temperatura/Tempo	0,20	0,72	0,7842
POT/Tempo	0,28	0,75	0,7216

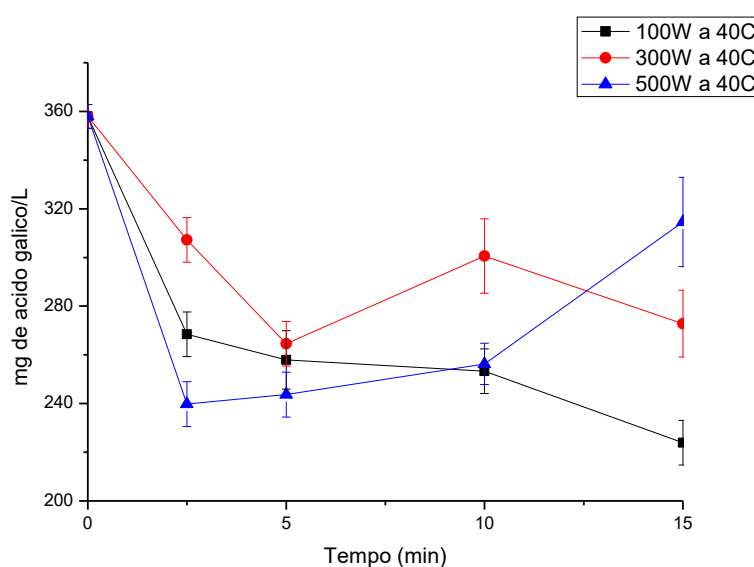
A variável mais importante estudada para o suco de acerola foi a temperatura, já quando adicionamos o FOS a potência também se tornou significativa. Tanto para o suco com ou sem prebiótico, houve um aumento da concentração de vitamina C durante o processamento ultrassônico.

#### 4.2.9 Compostos fenólicos

Analisando a concentração de compostos fenólicos nas amostras de suco de acerola sonificado, observou que nos primeiros 2,5 minutos em todas as temperaturas estudadas há uma queda brusca desses compostos podendo ser atribuído a compostos fenólicos livres inicialmente



mais susceptíveis a degradação (Figura 4.22). Após este período, há um aumento da concentração de fenólicos no sistema, podendo ser conferido a compostos ligados a parede celular que foram gradativamente desprendidos da matriz vegetal a partir dos 10 minutos de processamento, mas a concentração final deste composto continua bem menor que a inicial.



**Figura 4.22** Concentração de compostos fenólicos no suco de acerola sonificado a 40°C

O decréscimo da quantidade de compostos fenólicos nas amostras analisadas pode ser atribuído a formação de grande quantidade de radicais livres, medida a partir da concentração de peróxido de hidrogênio no meio durante o processamento do suco de acerola. Estes radicais livres podem reagir com os compostos antioxidantes. Outra explicação seria o aparecimento de um composto da matriz do suco que pode estar reagindo diretamente os compostos fenólicos da amostra sendo necessário mais estudos para o suco de acerola afim de encontrarmos o responsável para a degradação do mesmo. No estudo com suco sonificado de limão kasturi e blueberry (BHAT et al, 2011 e MOHIDDEN et al, 2015) os autores apresentaram resultados inversos ao nosso estudo, já que os sucos apresentaram uma maior quantidade de compostos fenólicos ao final do processamento ultrasônico não existindo degradação durante o experimento. Isso pode ser explicado pela diferença da matriz vegetal de cada fruta estudada, no caso do limão e blueberry a quantidade de carboidratos é bem maior que na nossa amostra de estudo (5 g/100g), 7,3 e 14g/100g respectivamente (TACO, 2006).

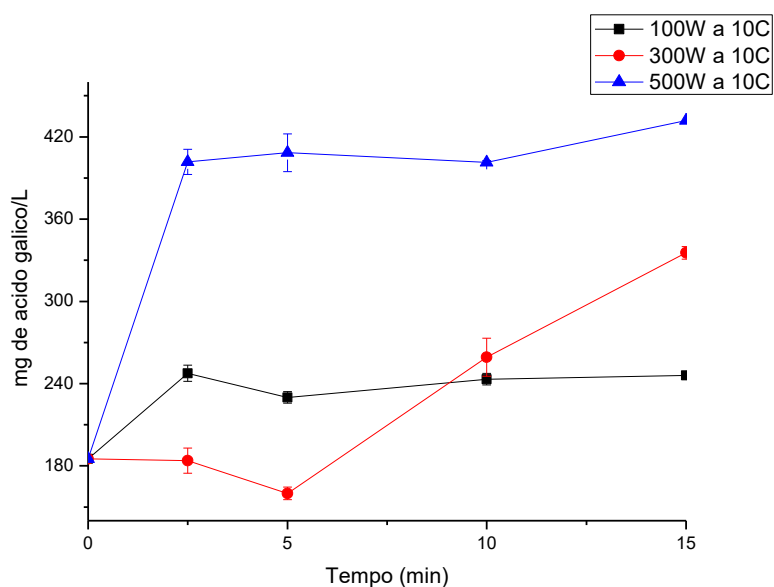
Com o elevado teor de carboidrato no meio, há possibilidade deste nutriente ser um fator de proteção dos compostos fenólicos durante o processamento ultrasônico. Alguns estudos

como o de Damadoran (2010), mostram que alguns nutrientes são mais estáveis quando estão em altas concentrações de sacarose, pois podem reagir com os açúcares aumentando sua estabilidade. Não foram observados significância estatística para o tempo, temperatura e potência.

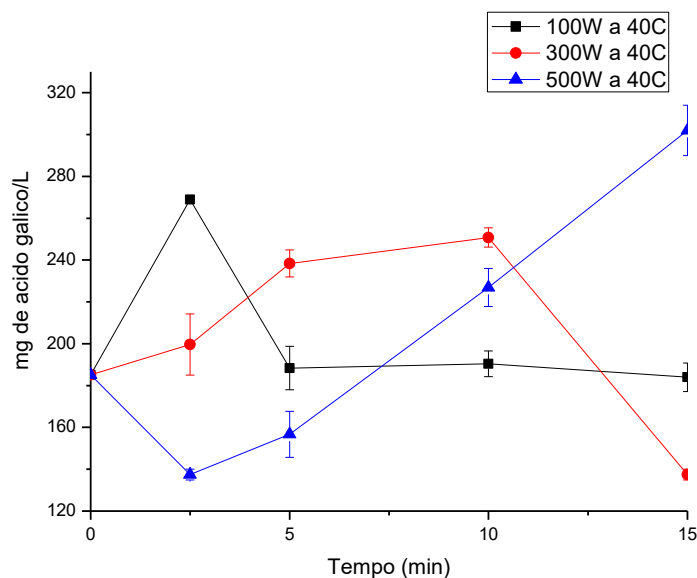
Analisando a concentração de compostos fenólicos nas amostras de suco de acerola sonificado enriquecido com frutoligossacarídeo, observa-se que há um aumento dos compostos a medida do tempo de processamento. Este fenômeno foi similar aos trabalhos de Abid et. al., (2013) e Mohideen et al., (2015) que estudaram suco de maçã e mirtilo respectivamente.

Verifica-se que quanto maior a potência utilizada em todos os processamentos, há um aumento da concentração desses compostos. De acordo com a Tabela 4.11 para este estudo, a temperatura e potência foram significantes.

Em contraste com as amostras de suco sonificado sem o FOS, as amostras enriquecidas aumentaram a quantidade final de compostos fenólicos no estudo, sendo atribuído a presença do frutoligossacarídeo (Figuras 4.23 e 4.24). O FOS parece contribuir para ser um fator de proteção aos compostos fenólicos, porém são necessários mais estudos para que se chegue a esta conclusão. Este acontecimento é importante pois a manutenção e o aumento desse composto produzem excelentes benefícios para o organismo já que este possui várias propriedades biológicas como: anticarcinogênico, antioxidante, antiviral e ações anti-inflamatórias (BHAT et al, 2011; SANTOS-BUELGA E SCALBERT, 2000).



**Figura 4.23** Concentração de compostos fenólicos no suco de acerola com FOS a 10°C



**Figura 4.24** Concentração de compostos fenólicos no suco de acerola com FOS a 40°C

**Tabela 4.11.** Análise de perturbação de variáveis para a concentração de compostos fenólicos para suco prebiótico.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-82,47</b>	<b>25,17</b>	<b>0,0029</b>
Temperatura (Q)	-90,69	45,78	0,0582
POT (L)	<b>60,81</b>	<b>25,88</b>	<b>0,0267</b>
POT (Q)	50,43	44,17	0,2639
Tempo (L)	43,89	27,28	0,1197
Tempo (Q)	-16,33	50,18	0,7473
Temperatura/POT	<b>-111,21</b>	<b>30,52</b>	<b>0,0011</b>
Temperatura/Tempo	-12,13	32,19	0,7093
POT/Tempo	9,30	33,55	0,7838

No estudo das variáveis para o suco de acerola, não houve nenhum parâmetro significativo, já quando adicionamos o FOS a temperatura foi significativa. Houve aumento da concentração de compostos fenólicos somente quando adicionamos o frutoligossacarídeo nas amostras.

#### 4.2.10 Capacidade antioxidante por DPPH, ABTS E FRAP

#### 4.2.10.1 Capacidade antioxidante por DPPH

As metodologias para a determinação da capacidade antioxidante (CA) são numerosas e podem estar sujeitas a interferências, por isso, atualmente preconiza-se a utilização de duas ou mais técnicas, já que nenhum ensaio usado isoladamente para determinar a capacidade antioxidante irá refletir exatamente a "capacidade antioxidante total" de uma amostra (HUANG et al., 2005).

É sabido que a capacidade antioxidante das amostras é dependente dos compostos antioxidantes presentes, ou seja, ácido ascórbico e compostos fenólicos (ABID et al., 2013).

Na Tabela 4.12, podemos verificar as amostras de suco de acerola sonificado, como também a amostra controle. Na temperatura de 10°C, verificamos que nos primeiros 2,5 minutos do teste as amostras aumentam sua capacidade antioxidante no caso da potência de 100W e 500W e se mantêm na potência de 300W comparadas a amostra controle. Após esse tempo há um decréscimo da CA em todos os tempos analisados até o final do experimento em todas as potências estudadas. Verificando a temperatura de 25°C, a capacidade antioxidante das amostras sonificadas se mantêm em todos as potências e tempos estudados. Já para a temperatura de 40°C, nos primeiros 2,5 minutos a 100W a amostra se mantêm, após isso o valor da CA decresce em todas as potências e tempos estudados. No trabalho de suco de pera sonificado, Saeeuddin et al (2015) também verificou na temperatura de 45°C uma diminuição na capacidade antioxidante de suas amostras.

**Tabela 4.12** Efeito do tratamento ultrassônico na capacidade antioxidante por DPPH.

	DPPH mg/mL		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>17,10 ± 2,95</b>	<b>17,10 ± 2,95</b>	<b>17,10 ± 2,95</b>
<b>10°C</b>			
2,5	51,45 ± 8,58	13,91 ± 2,10	22,16 ± 1,77
5	10,42 ± 0,81	9,71 ± 0,20	16,25 ± 0,47
10	1,34 ± 0,00	9,77 ± 0,71	25,97 ± 2,45
15	1,57 ± 0,31	7,53 ± 0,17	15,64 ± 1,86
<b>25°C</b>			
2,5	17,68 ± 5,24	8,92 ± 0,86	10,45 ± 1,38
5	17,27 ± 0,28	17,74 ± 0,61	19,44 ± 2,64
10	26,64 ± 0,89	19,55 ± 0,35	22,45 ± 2,62
15	17,71 ± 0,85	15,74 ± 0,07	10,82 ± 2,44
<b>40°C</b>			
2,5	17,25 ± 2,52	9,28 ± 0,44	15,69 ± 3,05
5	9,15 ± 1,08	11,00 ± 2,82	7,35 ± 0,17
10	12,19 ± 0,62	10,49 ± 2,42	9,15 ± 0,22
15	6,62 ± 0,61	8,26 ± 0,50	17,51 ± 1,34

Quando estudamos o processo de temperatura a 10°C, verificamos que as amostras de suco de acerola sonificado adicionado com frutoligossacarídeo aumenta sua capacidade antioxidante nos primeiros 10 minutos do experimento a 100W, na potência de 300W há um aumento da CA em todos os tempos estudados e na maior potência de 500W verificamos um decréscimo nos primeiros 10 minutos e após isso um aumento da CA. É ligeiramente diferente com o que ocorre nas amostras que não foram adicionadas o FOS, em resumo na potência de 300W a 10°C a capacidade antioxidante se manteve e na maior potência há um decréscimo da CA em todas as amostras analisadas.

Na temperatura de 25°C, observamos um aumento da CA na potência de 100W e decréscimo de sua capacidade nos primeiros 5 minutos. Na potência de 300W verificamos o aumento de sua CA nos 10 e 15 minutos finais do experimento. A capacidade antioxidante aumenta em todas as amostras tratadas na potência de 500W, comportamento similar ocorre no suco de mirtilo sonificado (MOHIDEEN et al., 2015), comportamento diferente do que ocorre nas amostras sem o FOS que se mantém sua capacidade antioxidante a 25°C em todas as potências estudadas.

Já na temperatura de 40°C, há um aumento da CA nas potências de 100 e 300W. Já na potência de 500W há um decréscimo de sua capacidade nos tempos de 10 e 15 minutos finais do experimento. Comportamento diferente do que ocorre na temperatura de 40°C com as amostras sem o frutoligossacarídeo.

Em geral, a capacidade antioxidante pelo método do DPPH aumentou em todas as corridas experimentais, fato que colaborou para isso foi o aumento da concentração de compostos fenólicos para este estudo.

**Tabela 4.13** Efeito do tratamento ultrassônico na capacidade antioxidante por DPPH em suco de acerola prebiótico.

	DPPH mg/mL		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>1,66 ± 0,18</b>	<b>1,66 ± 0,18</b>	<b>1,66 ± 0,18</b>
<b>10°C</b>			
2,5	1,76 ± 0,05	1,80 ± 0,22	1,27 ± 0,31
5	2,26 ± 0,26	1,86 ± 0,31	1,48 ± 0,01
10	2,88 ± 0,04	1,29 ± 0,24	1,34 ± 0,12
15	0,90 ± 0,00	2,74 ± 0,01	2,69 ± 0,32
<b>25°C</b>			
2,5	3,12 ± 0,34	1,22 ± 0,18	1,75 ± 0,13
5	1,39 ± 0,20	1,50 ± 0,03	2,66 ± 0,31
10	2,17 ± 0,30	2,05 ± 0,15	1,71 ± 0,20
15	3,40 ± 0,57	2,46 ± 0,28	1,66 ± 0,25
<b>40°C</b>			
2,5	2,27 ± 0,10	2,04 ± 0,07	2,96 ± 0,13
5	2,73 ± 0,07	1,75 ± 0,11	1,78 ± 0,00
10	3,22 ± 0,20	1,96 ± 0,05	1,60 ± 0,08
15	2,05 ± 0,15	2,64 ± 0,13	1,49 ± 0,12

Nenhum parâmetro foi significativo para este estudo, tanto do suco de acerola com ou sem frutoligossacarídeo. Sem o FOS a capacidade antioxidante por DPPH diminuiu, quando testou o FOS aumentou a capacidade antioxidante das amostras.

#### 4.2.10.2 Capacidade antioxidante por ABTS

Analisando a Tabela 4.14, em todas as temperaturas e potências do estudo a capacidade antioxidante por ABTS nas amostras de suco de acerola sonificado teve aumento, como também nos tempos estudados. A cavitação produzida no processamento ultrassônico pode aumentar o despreendimento das moléculas com poder antioxidantes de alguns compostos como apoenzimas, proteínas e etc. Bhat et al. (2011) verificou que a sonicação foi capaz de induzir o aumento na capacidade antioxidante do suco de limão Kasturi.

**Tabela 4.14** Efeito do tratamento ultrassônico na capacidade antioxidante por ABTS.

	ABTS mg/mL		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>6,55 ± 0,12</b>	<b>6,55 ±0,12</b>	<b>6,55 ±0,12</b>
<b>10°C</b>			
2,5	7,04 ±0,13	6,55 ±1,63	5,86 ±0,36
5	6,55 ±0,05	5,17 ±0,21	6,71 ±0,47
10	6,48 ±0,24	6,91 ±1,71	9,27 ±2,51
15	9,19 ±0,81	7,77 ±0,95	6,90 ±0,27
<b>25°C</b>			
2,5	9,81 ±0,46	9,49 ±0,02	12,63 ±1,04
5	6,01 ±0,55	6,34 ±0,56	7,87± 0,56
10	9,89 ±0,82	12,75±0,31	6,81 ±0,21
15	7,43 ±0,38	8,02 ±0,39	7,49 ±0,84
<b>40°C</b>			
2,5	7,01 ±0,48	8,71 ±0,21	8,42 ±0,32
5	6,81 ±0,31	10,67 ±0,64	6,92 ±0,34
10	8,92 ±0,12	7,41 ±0,50	7,83 ±0,02
15	8,26 ±0,55	7,11 ±0,30	8,42 ±0,62

Os resultados do suco enriquecido com FOS (Figura 4.15) são similares aos que ocorrem nos tratamentos sem o frutoligossacarídeo, no qual em todas as potências e temperaturas estudadas a capacidade antioxidante aumenta nos tempos propostos. Com exceção apenas dos tempos de 5 e 10 minutos nas potências de 300 e 500W que há um decréscimo da CA, porém, após isso, há um aumento da capacidade antioxidante. De acordo com a Tabela 4.16, apenas a potência se apresentou significativa.

**Tabela 4.15.** Efeito do tratamento ultrassônico na capacidade antioxidante por ABTS em suco de acerola prebiótico.

	ABTS mg/mL		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>5,16 ± 0,44</b>	<b>5,16 ± 0,44</b>	<b>5,16 ± 0,44</b>
<b>10°C</b>			
2,5	7,02 ± 1,23	6,93 ± 0,71	7,00 ± 0,26
5	6,57 ± 0,76	6,00 ± 0,35	2,09 ± 0,03
10	11,71 ± 2,67	6,96 ± 0,15	2,08 ± 0,00
15	6,42 ± 0,20	6,93 ± 0,11	7,06 ± 0,88
<b>25°C</b>			
2,5	5,15 ± 0,48	6,03 ± 0,07	6,31 ± 0,42
5	5,83 ± 0,39	4,43 ± 0,06	6,81 ± 0,36
10	5,59 ± 0,38	6,78 ± 0,18	5,57 ± 0,27
15	7,56 ± 0,47	6,19 ± 0,24	4,85 ± 0,12
<b>40°C</b>			
2,5	5,40 ± 0,28	6,60 ± 0,10	4,68 ± 0,28
5	4,26 ± 0,11	2,11 ± 0,01	4,92 ± 0,64
10	5,51 ± 0,05	2,12 ± 0,03	4,39 ± 0,40
15	6,76 ± 0,16	6,90 ± 0,62	5,41 ± 0,52

**Tabela 4.16.** Análise de perturbação de variáveis para a capacidade antioxidante por ABTS em suco de acerola prebiótico.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	-1,31	0,67	0,0595
Temperatura (Q)	0,65	1,21	0,5967
POT (L)	<b>-1,65</b>	<b>0,69</b>	<b>0,0237</b>
POT (Q)	-1,09	1,17	0,3613
Tempo (L)	0,72	0,72	0,3279
Tempo (Q)	2,07	1,33	0,1311
Temperatura/POT	1,33	0,81	0,1115
Temperatura/Tempo	-0,59	0,85	0,4906
POT/Tempo	-0,10	0,89	0,9143

Na capacidade antioxidante por ABTS, nenhuma variável foi significativa no suco sem FOS, quando adicionou o prebiótico, a potência foi significativa para o estudo. A capacidade antioxidante aumentou em todos os tratamentos.



#### 4.2.10.3 Capacidade antioxidante por FRAP

Analisando a Tabela 4.17, na temperatura de 10°C e potências de 100 e 500W a capacidade antioxidante por FRAP aumenta em todas as amostras com exceção dos tempos de 2,5 e 10 minutos (100W) e no tempo de 5 minutos (500W). Já para a potência de 300W, em todos os tempos observamos o decréscimo da capacidade antioxidante.

Observando a temperatura de 25°C, há um decréscimo da CA em todos os tempos estudados na menor potência de estudo (100W) e um aumento da capacidade antioxidante em todos os tempos a 300W e 500W com exceção de 10 e 15 minutos da maior potência.

Quando verificamos a temperatura de 40°C, há um aumento da CA em todas as potências estudadas e em todos os tempos com apenas uma exceção nos primeiros 2,5 minutos da maior potência em estudo (500W).

**Tabela 4.17.** Efeito do tratamento ultrassônico na capacidade antioxidante por FRAP.

	FRAP µg/mL		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>3,99±0,22</b>	<b>3,99±0,22</b>	<b>3,99±0,22</b>
<b>10°C</b>			
2,5	3,33±0,18	2,00±0,24	4,08±0,13
5	5,22±0,37	2,13±0,00	2,95±0,99
10	2,87±0,14	0,44 ±0,00	5,26±1,57
15	4,83±0,02	1,95±0,17	4,93±0,43
<b>25°C</b>			
2,5	3,34±0,65	2,73±0,59	5,39±0,83
5	2,69±0,82	5,56±1,02	4,78±0,31
10	3,18±0,32	4,59±0,59	1,48±0,27
15	2,89±0,31	4,65±0,31	3,72±0,53
<b>40°C</b>			
2,5	3,86±0,24	6,23±1,98	1,98±0,00
5	5,95±0,34	5,92±0,13	4,37±0,24
10	3,81±0,79	4,45±1,11	5,36±0,27
15	4,98±0,08	4,65±0,48	4,14±0,42

A capacidade antioxidante por FRAP (Figura 4.18) aumentou em todas as temperaturas na potência de 100W durante o tempo estudado. Já na potência de 300W, a CA aumentou nas temperaturas de 10 e 25°C e houve decréscimo na temperatura de 40°C. Na potência de 500W, houve decréscimo apenas nos tempos de 5 e 10 minutos na temperatura de 40°C, nas demais houve aumento da CA. De acordo com a Tabela 4.19 apenas a temperatura apresentou significância.

**Tabela 4.18** Efeito do tratamento ultrassônico na capacidade antioxidante por FRAP.

	FRAP mg/mL		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>1,77±0,55</b>	<b>1,77±0,55</b>	<b>1,77±0,55</b>
<b>10°C</b>			
2,5	2,39±0,28	2,28±0,30	2,04±0,50
5	3,64±0,55	2,49±0,30	2,40±0,00
10	4,54±0,40	4,79±0,55	1,81±0,26
15	3,33±0,48	3,04±0,60	1,96±0,07
<b>25°C</b>			
2,5	2,01±0,02	4,22±0,60	2,27±0,14
5	2,98±0,26	4,69±0,51	2,48±0,41
10	2,91±0,27	2,44±0,40	2,69±0,34
15	2,81±0,41	4,33±0,81	1,75±0,34
<b>40°C</b>			
2,5	1,34±0,39	0,67±0,14	2,20±0,09
5	4,10±0,31	0,77±0,18	0,38±0,08
10	2,42±0,28	0,36±0,11	1,11±0,06
15	2,62±0,04	1,83±0,02	1,98±0,06

**Tabela 4.19** Análise de perturbação de variáveis para a capacidade antioxidante por FRAP em suco de acerola prebiótico.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-1,22</b>	<b>0,41</b>	<b>0,0059</b>
Temperatura (Q)	<b>-1,53</b>	<b>0,74</b>	<b>0,0493</b>
POT (L)	-0,82	0,42	0,0605
POT (Q)	-0,56	0,71	0,4359
Tempo (L)	0,46	0,44	0,3043
Tempo (Q)	-0,32	0,81	0,6946
Temperatura/POT	0,26	0,49	0,5976
Temperatura/Tempo	-0,01	0,52	0,9859
POT/Tempo	-0,03	0,54	0,9586

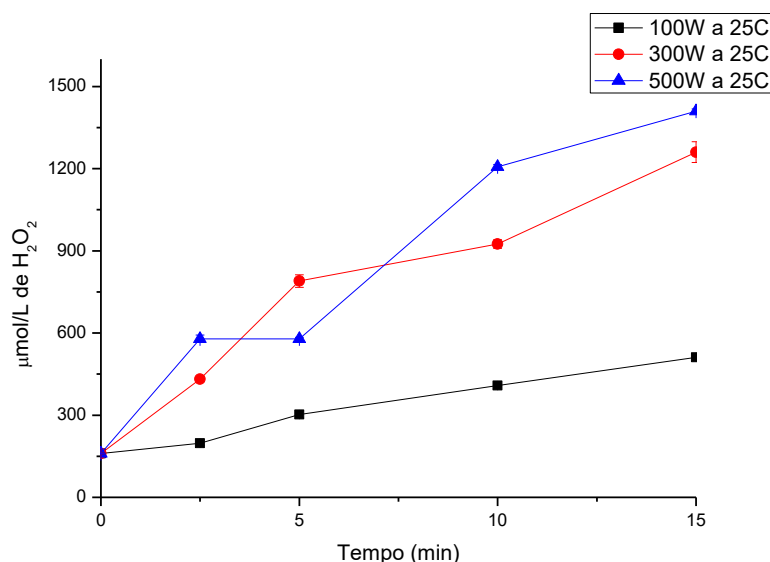
Na capacidade antioxidante por FRAP, nenhuma variável foi significativa no suco sem FOS, quando adicionou o prebiótico, a temperatura foi significativa para o estudo. A capacidade antioxidante aumentou em todos os tratamentos.

#### 4.2.11 Peróxido De Hidrogênio

Com o avanço do tempo é verificado que a quantidade de peróxido de hidrogênio tende a aumentar para todas as amostras analisadas (Figura 4.25), já que o tempo de aplicação está diretamente ligado ao aumento da produção de peróxido no sistema. O tempo neste caso se apresenta com significância maior que 95%.

Quando observamos a concentração de peróxido de hidrogênio em relação as temperaturas do estudo, verificamos que o comportamento é bem similar em todas as potências estudadas. De acordo com a Tabela 4.20, a temperatura não se apresentou significativa.

O aumento da concentração de peróxido de hidrogênio é atribuído ao maior estresse oxidativo da amostra, neste caso por conta da potência aplicada no estudo (500W), o ultrassom produz radicais livres e peróxido de hidrogênio no meio em que ele é aplicado, mas o suco da acerola potencializa essa formação de composto. São necessários mais estudos com outros sucos de frutas para se chegar a conclusão de quais compostos podem potencializar a formação do peróxido de hidrogênio. De acordo com Oliveira et al. (2015) a decomposição do peróxido de hidrogênio produz radicais livres, tais como oxigênio singlete, que são neutralizados por licopeno, ácido ascórbico e alguns outros antioxidantes naturais.



**Figura 4.25** Concentração de peróxido de hidrogênio no suco de acerola a 25°C

Nos primeiros minutos de processamento (2,5 min) e em todas as temperaturas de estudo é verificado o aumento na concentração de peróxido de hidrogênio em todas as amostras de suco de acerola sonificado enriquecido com o frutoligossacarídeo. Já no tempo de término de

15 minutos, em todas as amostras com exceção da potência de 100W a 10°C, todas as amostras tendem também a aumentar a concentração final do composto.

**Tabela 4.20.** Análise de perturbação de variáveis para a concentração de peróxido de hidrogênio.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	104,87	98,71	0,2978
Temperatura (Q)	-8,19	179,51	0,9639
POT (L)	<b>583,76</b>	<b>101,49</b>	<b>0,0000</b>
POT (Q)	-28,92	173,19	0,8687
Tempo (L)	<b>607,70</b>	<b>106,97</b>	<b>0,0000</b>
Tempo (Q)	-269,29	196,75	0,1828
Temperatura/POT	-116,58	119,68	0,3390
Temperatura/Tempo	-50,55	126,22	0,6921
POT/Tempo	111,25	131,55	0,4054

As variáveis mais importantes foram a potência e o tempo. Tanto nas amostras sem ou com frutoligossacarídeo, a concentração de peróxido de hidrogênio aumentou em todas as amostras durante o estudo.

#### 4.2.12 pH

Nenhuma modificação que pudesse afetar na qualidade do suco foi observada para os valores de pH em todas as amostras analisadas do suco de acerola sonificado e também na amostra controle. Na Tabela 4.21, podemos observar que tanto em temperatura quanto nos tempos estudados os resultados encontrados foram similares aos estudos com suco de maçã e limão kasturi sonificado (ABID et al, 2013; BATH et al, 2011). Este comportamento de pH neste estudo se deve ao tratamento ultrassônico que produz peróxido de hidrogênio e este se decompõe no meio produzindo radical  $\text{OH}^-$  sendo responsável por um leve aumento de pH no meio.

**Tabela 4.21** pH do suco de acerola sonificado a 10, 25 e 40°C

t ( min)	pH		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>3,13±0,00</b>	<b>3,13 ± 0,00</b>	<b>3,13 ± 0,00</b>
<b>10°C</b>			
2,5	3,23±0,02	3,37 ± 0,01	3,42 ± 0,01
5	3,30 ± 0,01	3,35 ± 0,01	3,43 ±0,01
10	3,30 ± 0,01	3,36 ± 0,00	3,42 ±0,00
15	3,38 ± 0,01	3,35 ± 0,00	3,38 ±0,01
<b>25°C</b>			
2,5	3,39 ± 0,01	3,41 ± 0,01	3,42 ± 0,01
5	3,10 ± 0,28	3,40 ±0,01	3,45 ±0,00
10	3,33 ± 0,00	3,40 ±0,01	3,39 ±0,01
15	3,37 ± 0,02	3,38 ±0,00	3,38 ±0,01
<b>40°C</b>			
2,5	3,25 ± 0,00	3,40 ± 0,00	3,39 ± 0,00
5	3,32 ± 0,01	3,37 ± 0,00	3,42 ± 0,00
10	3,34± 0,00	3,38 ± 0,01	3,31 ± 0,01
15	3,38± 0,00	3,35 ± 0,00	3,37 ±0,00

De acordo com a Tabela 4.22, o pH de todas as amostras analisadas tanto em temperatura quanto nos tempos estudados, comparadas ao controle e as amostras sonificadas sem adição de FOS, não foi observada nenhuma mudança. Os resultados são similares aos trabalhos com suco de goiaba e manga sonificada (CHENG et al, 2007; SANTHIRASEGARAM et al, 2013).

**Tabela 4.22** pH do suco de acerola com FOS sonificado a 10, 25 e 40°C.

t (min)	pH		
	100 W	300 W	500 W
<b>Suco não processado</b>	<b>2,97 ± 0,00</b>	<b>2,97 ± 0,00</b>	<b>2,97 ± 0,00</b>
<b>10°C</b>			
2,5	2,97 ± 0,00	2,97 ± 0,01	2,97 ± 0,00
5	2,96 ± 0,00	3,00 ± 0,00	2,97 ± 0,00
10	2,93 ± 0,00	2,96 ± 0,00	2,92 ± 0,00
15	2,97 ± 0,00	2,98 ± 0,00	2,92 ± 0,01
<b>25°C</b>			
2,5	2,930 ± 0,01	2,98 ± 0,00	2,95 ± 0,00
5	2,940 ± 0,00	2,93 ± 0,00	2,98 ± 0,00
10	2,970 ± 0,00	2,99 ± 0,00	2,98 ± 0,00
15	2,930 ± 0,00	3,00 ± 0,00	2,98 ± 0,00
<b>40°C</b>			
2,5	2,90 ± 0,00	2,86 ± 0,00	2,88 ± 0,01
5	2,88 ± 0,00	2,83 ± 0,00	2,86 ± 0,00
10	2,84 ± 0,00	2,82 ± 0,00	2,85 ± 0,00
15	2,87 ± 0,00	2,86 ± 0,00	2,85 ± 0,00

#### 4.2.13 Sólidos Solúveis Totais (*°BRIX*)

No estudo do valor de *°Brix* (sólidos solúveis totais) do suco de acerola sonificado, não houve alteração comparado a amostra controle estudada (Tabela 4.23). Esses resultados semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Tiwari et al, (2008) que estudou suco de laranja sonificado, como também Adekunt et al, (2010) com suco de tomate sonificado. Não se tem reportado na literatura efeitos nos valores de sólidos solúveis totais durante o processamento ultrassônico, ou seja, a sonificação não tem efeito na solubilidade de açúcares.

**Tabela 4.23** Sólidos solúveis totais do suco de acerola sonificado a 10, 25 e 40°C.

<b>t (min)</b>	<b>Sólidos solúveis totais</b>		
	<b>100 W</b>	<b>300 W</b>	<b>500 W</b>
<b>Suco não processado</b>	<b>3,50 ± 0,00</b>	<b>3,50 ± 0,00</b>	<b>3,50 ± 0,00</b>
<b>10°C</b>			
2,5	2,90 ± 0,00	3,20 ± 0,00	3,10 ± 0,14
5	2,90 ± 0,00	3,05 ± 0,07	3,10 ± 0,07
10	2,95 ± 0,07	3,00 ± 0,00	3,20 ± 0,00
15	2,95 ± 0,07	3,20 ± 0,00	3,30 ± 0,14
<b>25°C</b>			
2,5	2,90 ± 0,00	2,90 ± 0,00	3,00 ± 0,00
5	2,70 ± 0,00	2,90 ± 0,00	3,10 ± 0,00
10	3,10 ± 0,00	3,15 ± 0,07	3,15 ± 0,07
15	3,05 ± 0,07	3,10 ± 0,00	3,10 ± 0,00
<b>40°C</b>			
2,5	3,00 ± 0,00	3,25 ± 0,07	3,15 ± 0,07
5	3,10 ± 0,00	3,40 ± 0,00	3,35 ± 0,07
10	3,05 ± 0,07	3,10 ± 0,00	3,50 ± 0,00
15	3,00 ± 0,00	3,35 ± 0,07	3,55 ± 0,07

No estudo da concentração de sólidos solúveis totais para as amostras compostas de suco de acerola com o frutoligossacarídeo, observamos que houve um aumento em relação a amostra controle, como também nas amostras sonificadas sem FOS. Conforme a Tabela 4.24, em geral, quanto maior o tempo de processamento o valor de sólidos solúveis tende a aumentar. Na temperatura de 25°C e potência de 100W é observado o aumento da concentração no meio podendo ser atribuído ao fenômeno de cavitação que decompõe o FOS e assim há uma maior quantidade de SST no meio.

**Tabela 4.24** Sólidos solúveis totais do suco de acerola sonificado com FOS a 10, 25 e 40°C.

t (min)	Sólidos solúveis totais		
	100 W	300 W	500 W
<b>Suco não processado</b>	<b>3,90 ± 0,00</b>	<b>3,90 ± 0,00</b>	<b>3,90 ± 0,00</b>
<b>10°C</b>			
2,5	4,50 ± 0,00	4,25 ± 0,07	4,70 ± 0,00
5	4,55 ± 0,07	4,20 ± 0,00	4,70 ± 0,00
10	4,65 ± 0,07	4,30 ± 0,00	4,80 ± 0,00
15	4,60 ± 0,00	4,30 ± 0,00	4,60 ± 0,00
<b>25°C</b>			
2,5	4,90 ± 0,00	4,35 ± 0,07	4,20 ± 0,00
5	4,70 ± 0,00	4,50 ± 0,00	4,30 ± 0,00
10	4,80 ± 0,00	4,50 ± 0,00	4,40 ± 0,00
15	4,80 ± 0,00	4,50 ± 0,00	4,40 ± 0,00
<b>40°C</b>			
2,5	4,20 ± 0,00	4,05 ± 0,07	3,90 ± 0,00
5	4,30 ± 0,00	3,70 ± 0,00	3,80 ± 0,00
10	4,20 ± 0,00	3,90 ± 0,00	4,10 ± 0,00
15	4,30 ± 0,00	3,60 ± 0,00	4,30 ± 0,00

#### 4.2.14 Cor

A cor é um indicador visual para julgar a qualidade de sucos de frutas e desempenha um papel importante na satisfação do consumidor (AADIL et al., 2013).

Os parâmetros de cor para o suco de acerola sonificado são propostos por L\* (luminosidade), C\* (chroma) e h (ângulo de tonalidade) onde as propriedades de cor estão melhores representadas. Avaliando os parâmetros de cor (L\*, c\* h) com o aumento de temperatura (Tabela 4.25), estes diminuem comparados a amostra controle sem sonicação. No presente estudo, e também no trabalho de Tiwari et al, (2008) tem se observado um aumento no valor de nuvem atribuído ao efeito de homogeneização durante a sonicação que pode explicar o aumento do valor L\* das amostras. Rawson et. al., (2011) e Dias et al., (2015) também observaram essas mudanças nos sucos de melancia e graviola sonificados respectivamente.



Em relação a amostra controle, o valor de  $L^*$  decresce nas temperaturas e potências estudadas indicando escurecimento da cor nas amostras estudadas. Mohideen et al., (2015), também encontrou valores menores de  $L^*$  nas suas amostras de suco de mirtilo sonificado. De acordo com Mason et al., (2005) a degradação da cor comparada a amostra controle do suco de acerola sonificado pode ser atribuída à isomerização acelerada dos carotenóides, bem como as reações de oxidação que ocorrem como um resultado da interação entre os radicais livres gerados durante os tratamentos de sonicação. A cavitação induzida durante o tratamento tem sido relatada por contribuir para as mudanças que ocorrem na cor de sucos de frutas ( CHENGET al., 2007 ; TIWARI et al.,2008).

Em relação a amostra controle, quando estudamos a potência de 300W, verificamos que o ângulo de tonalidade  $h^*$  aumenta em todas as amostras, este fenômeno pode ser atribuído à degradação dos compostos fenólicos (REIN E HEINONEN, 2004). Os valores de cromaticidade  $c^*$  indica a saturação de cor (GONNET, 1998). Os maiores valores de chroma indicar uma cor mais viva, sendo observado somente nas temperaturas maiores desse estudo de 25 e 40°C.

Já nas potências em estudo a 10°C as amostras permanecem praticamente inalteradas nos parâmetros ( $L^*$ ,  $c^*$  e  $h$ ) porém na temperatura de 40°C a 100W o  $h$ , ângulo de tonalidade apresentou-se maior que nas outras potências em estudo. Em temperaturas baixas como nesse caso, 10°C, as reações químicas e a produção de peróxido de hidrogênio no meio é bem menor comparado com temperaturas maiores aplicadas ao processo. É notado que na temperatura de 25°C a 500W os parâmetros ( $L^*$ ,  $c^*$ ,  $h$ ) tendem a aumentar, como também em todos tempos de 40°C nas três potências estudadas, indicando correlação com os carotenoides estudados

**Tabela 4.25** Atributos de cor para suco de acerola processado a 10, 25 e 40°C

t (min)	L*	Atributos de cor							
		100W c	h	L*	300W c	h	L*	500W c	h
Suco não processado	48,97 ± 0,18	39,06 ± 0,17	63,77 ± 0,34	48,97 ± 0,18	39,06 ± 0,17	63,77 ± 0,34	48,97 ± 0,18	39,06 ± 0,17	63,77 ± 0,34
<b>10°C</b>									
2,5	44,67 ± 0,26	39,00 ± 0,42	53,72 ± 0,20	43,27 ± 0,08	37,97 ± 0,17	49,29 ± 0,06	44,19 ± 0,15	39,32 ± 0,27	51,35 ± 0,07
5	43,61 ± 0,13	37,78 ± 0,22	53,15 ± 0,04	41,89 ± 0,17	37,66 ± 0,33	49,38 ± 0,19	43,92 ± 0,14	37,26 ± 0,32	51,69 ± 0,09
10	43,32 ± 0,24	37,22 ± 0,40	51,47 ± 0,10	43,72 ± 0,15	38,47 ± 0,26	50,59 ± 0,07	44,07 ± 0,12	39,44 ± 0,23	49,26 ± 0,04
15	43,32 ± 0,20	37,90 ± 0,37	50,93 ± 0,03	42,33 ± 0,03	37,58 ± 0,04	50,11 ± 0,08	42,87 ± 0,08	37,50 ± 0,09	49,76 ± 0,18
<b>25°C</b>									
2,5	45,69 ± 0,24	41,48 ± 0,42	54,24 ± 0,09	44,77 ± 0,10	40,17 ± 0,18	52,64 ± 0,06	43,00 ± 0,21	38,11 ± 0,58	50,68 ± 0,17
5	46,13 ± 0,05	41,46 ± 0,17	54,89 ± 0,06	43,30 ± 0,05	37,98 ± 0,11	51,51 ± 0,07	45,37 ± 0,48	42,07 ± 0,74	51,79 ± 0,21
10	44,75 ± 0,05	41,85 ± 0,03	50,56 ± 0,10	46,92 ± 0,23	41,12 ± 0,50	55,45 ± 0,14	45,47 ± 0,20	40,92 ± 0,28	52,89 ± 0,14
15	44,85 ± 0,57	41,62 ± 0,92	51,95 ± 0,25	44,26 ± 0,35	40,42 ± 0,65	50,82 ± 0,20	45,05 ± 0,20	40,85 ± 0,25	52,28 ± 0,07
<b>40°C</b>									
2,5	46,77 ± 0,16	44,63 ± 0,19	54,42 ± 0,09	45,29 ± 0,10	42,71 ± 0,19	52,70 ± 0,11	46,00 ± 0,37	44,35 ± 0,58	52,49 ± 0,13
5	46,13 ± 0,50	43,31 ± 0,72	54,04 ± 0,20	45,44 ± 1,15	43,07 ± 0,39	51,9 ± 0,18	46,03 ± 0,26	43,85 ± 0,41	50,77 ± 0,15
10	46,39 ± 0,22	43,72 ± 0,36	54,42 ± 0,09	46,45 ± 0,15	43,66 ± 0,28	53,20 ± 0,17	45,72 ± 0,26	43,53 ± 0,44	51,84 ± 0,12
15	47,59 ± 0,11	46,16 ± 0,21	55,39 ± 1,89	46,37 ± 0,36	43,51 ± 0,74	53,05 ± 0,55	46,55 ± 0,23	44,05 ± 0,47	52,11 ± 0,13

O comportamento dos atributos de cor é similar em alguns parâmetros para as amostras de suco de acerola sonificado sem adição de FOS, como por exemplo a luminosidade  $L^*$ , em relação a amostra controle esta medida decresce em todas as potências e temperaturas em estudo. Comportamento inverso do que ocorre no trabalho de suco de manga sonificada de Santhirasegaram et al. (2013) no qual este dado aumenta com o tempo de tratamento ultrassônico aplicado.

No caso do valor de chroma,  $C^*$ , é também similar nas amostras sem adição de FOS, apenas com exceção das amostras a  $10^{\circ}\text{C}$  (Tabela 4.26) que este parâmetro tende a decrescer pela temperatura aplicada, ou seja, a cor do suco torna-se menos viva. Já para as temperaturas de  $25$  e  $40^{\circ}\text{C}$  (Tabela 4.26) em todas as potências aplicadas os valores de  $C^*$  tendem a aumentar. Valores inversos aos nossos foram encontrados no trabalho de suco de mirtilo sonificado em que seus valores de chroma tenderam a diminuir com a sonificação aplicada. (MOHIDEEN et. al., 2015).

Os valores do angulo de tonalidade  $h^*$ , tendem a diminuir em todas as potências e temperaturas estudadas, os mesmos resultados foram encontrados para as amostras de suco sonificado de acerola sem adição do frutoligossacarídeo. O comportamento se apresentou similar ao trabalho de Mohideen et. al. (2015) quando estudou suco de mirtilo sonificado. Em geral, as medidas de cor tendem a diminuir em todos os experimentos propostos, com exceção dos valores de  $C^*$  nas temperaturas de  $25$  e  $40^{\circ}\text{C}$  que aumentam.

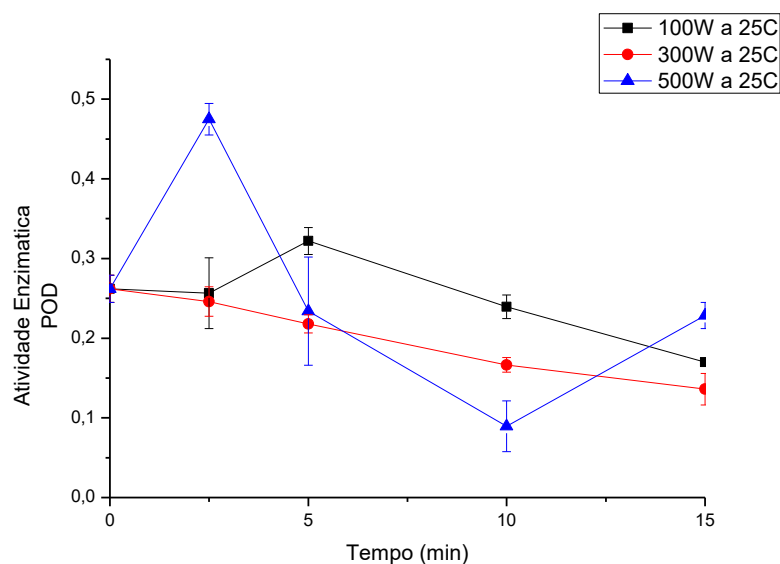
**Tabela 4.26** Atributos de cor para suco de acerola prebiótico processado a 10, 25 e 40°C

t (min)	L*	Atributos de cor							
		100W			300W			500W	
		c	h	L*	c	h	L*	c	h
<b>Suco não processado</b>									
	<b>52,22 ± 0,12</b>	<b>41,20 ± 0,11</b>	<b>72,57 ± 0,02</b>	<b>52,22 ± 0,12</b>	<b>41,20 ± 0,11</b>	<b>72,57 ± 0,02</b>	<b>52,22 ± 0,12</b>	<b>41,20 ± 0,11</b>	<b>72,57 ± 0,02</b>
<b>10°C</b>									
2,5	49,29 ± 0,08	40,05 ± 0,07	67,22 ± 0,06	49,35 ± 0,08	40,95 ± 0,15	67,73 ± 0,12	50,13 ± 0,16	40,63 ± 0,17	70,06 ± 0,06
5	48,96 ± 0,09	39,43 ± 0,11	67,71 ± 0,05	49,52 ± 0,22	40,08 ± 0,34	68,29 ± 0,10	50,03 ± 0,16	40,58 ± 0,27	69,96 ± 0,06
10	49,04 ± 0,03	39,79 ± 0,05	68,06 ± 0,04	51,37 ± 0,36	43,00 ± 0,40	68,07 ± 0,07	50,38 ± 0,24	40,92 ± 0,33	69,64 ± 0,12
15	50,16 ± 0,20	41,66 ± 0,31	68,45 ± 0,10	50,00 ± 0,09	41,29 ± 0,14	68,18 ± 0,07	50,68 ± 0,24	42,21 ± 0,30	69,13 ± 0,08
<b>25°C</b>									
2,5	50,69 ± 0,10	41,41 ± 0,05	69,78 ± 0,05	49,56 ± 0,07	49,56 ± 0,07	68,03 ± 0,10	50,14 ± 0,28	41,53 ± 0,44	69,38 ± 0,14
5	49,15 ± 0,24	42,38 ± 0,36	69,14 ± 0,14	47,68 ± 0,10	47,68 ± 0,10	68,32 ± 0,06	47,76 ± 0,14	40,73 ± 0,16	68,98 ± 0,07
10	48,95 ± 0,25	39,80 ± 0,37	68,22 ± 0,13	49,65 ± 0,41	49,65 ± 0,41	67,59 ± 0,15	50,74 ± 0,17	42,36 ± 0,25	69,04 ± 0,08
15	51,72 ± 0,14	45,06 ± 0,13	68,45 ± 0,04	49,54 ± 0,18	49,54 ± 0,18	67,28 ± 0,08	50,94 ± 0,22	43,24 ± 0,28	68,79 ± 0,10
<b>40°C</b>									
2,5	51,29 ± 0,24	44,39 ± 0,33	69,67 ± 0,15	51,29 ± 0,22	43,57 ± 0,29	70,33 ± 0,13	51,44 ± 0,06	43,57 ± 0,16	70,50 ± 0,08
5	49,80 ± 0,67	41,75 ± 1,04	69,07 ± 0,24	48,20 ± 0,18	41,85 ± 0,28	69,14 ± 0,13	47,53 ± 0,73	41,07 ± 1,15	67,93 ± 0,23
10	50,11 ± 0,16	42,68 ± 0,35	68,14 ± 0,12	50,11 ± 0,23	43,48 ± 0,37	69,16 ± 0,07	50,65 ± 0,32	42,87 ± 0,49	68,23 ± 0,09
15	49,31 ± 0,40	41,92 ± 0,56	67,48 ± 0,13	49,31 ± 0,73	43,15 ± 1,11	68,63 ± 0,25	49,27 ± 0,95	43,90 ± 1,27	68,07 ± 0,16

#### 4.2.15 Atividade Enzimática POD e PAX.

##### 4.2.15.1 Atividade enzimática da POD

Analisando a atividade enzimática da peroxidase nas amostras de suco de acerola sonificado (Figura 4.26), verificamos que em todas as temperaturas estudadas nos primeiros 2,5 minutos a maior potência do estudo (500W) se destaca por apresentar menor atividade em comparação com as demais. Também tem sido relatado que um dos principais fatores na inativação enzimática é o aumento de temperatura e pressão numa área localizada da amostra durante o tratamento ultrassônico. (LOPEZ et al., 1998).



**Figura 4.26** Atividade Enzimática da POD em suco de acerola sonificado a 25°C

No tempo de 10 minutos de experimento, temos a menor atividade enzimática observada em todas as temperaturas e potências do estudo. Sendo um tempo excelente para a inativação da POD em qualquer circunstância aplicada da análise. Saeeduddin et al., (2015), observou o decréscimo da POD em suco de pera sonificado nas temperaturas de 25, 45 e 65°C de seu experimento. A formação e desintegração das bolhas na amostra durante a cavitação é um fenômeno físico que contribui para a inativação da enzima (ERCAN e SOYSAL, 2011). De acordo com a Tabela 4.27, o parâmetro tempo para este estudo é o único que se apresenta significativo, maior que 95%.

A atividade enzimática final é maior para as potências de 300 e 500W apenas na temperatura de 40°C. Sabemos que por si só o ultrassom não poderia inativar enzimas até um nível desejado (VILLAMIEL E DE JONG, 2000). Luíz et al. (2007) reporta o comportamento

da peroxidase como uma enzima termorresistente nos produtos de origem vegetal, contudo nas frutas, por causa das condições mais ácidas, ela se apresenta menos estável, embora seja difícil sua inativação.

**Tabela 4.27** Análise de perturbação de variáveis para a atividade enzimática da POD em suco de acerola sonificado.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	0,03	0,03	0,2799
Temperatura (Q)	0,04	0,06	0,4814
POT (L)	0,03	0,03	0,3461
POT (Q)	-0,04	0,06	0,4235
Tempo (L)	<b>-0,12</b>	<b>0,03</b>	<b>0,0013</b>
Tempo (Q)	<b>0,27</b>	<b>0,06</b>	<b>0,0002</b>
Temperatura/POT	0,07	0,04	0,0979
Temperatura/Tempo	0,04	0,04	0,3819
POT/Tempo	<b>-0,10</b>	<b>0,04</b>	<b>0,0208</b>

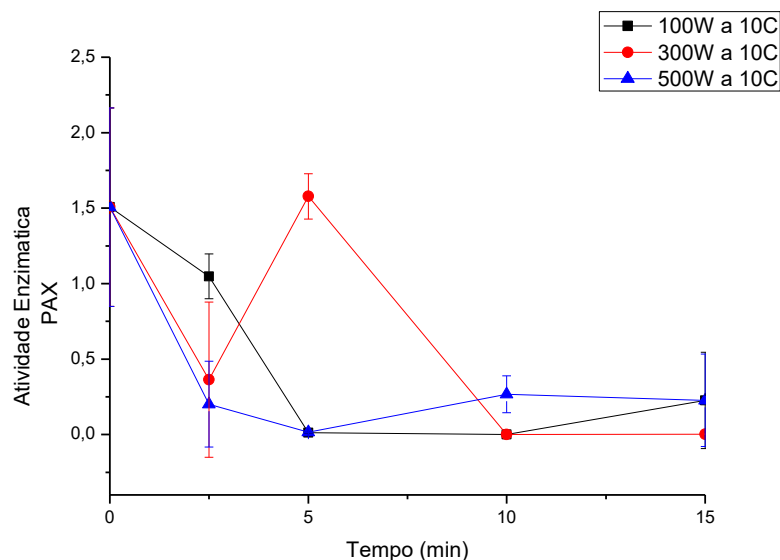
O parâmetro mais importante no nosso estudo foi o tempo. A atividade enzimática diminuiu em todos os experimentos ao longo do processamento, sendo um ponto positivo para o estudo.

#### 4.2.15.2 Atividade enzimática da PAX

A peroxidase ascorbato (PAX) pode causar mudanças indesejáveis no aroma, gosto, cor, textura e também a perda de nutrientes (HEMEDA e KLEIN, 1990; WHITAKER, 1994). Segundo Richardson e Hyslop (1985), esta enzima também pode participar da destruição de vitamina C e descoloração de antocianinas. De acordo com a Figura 4.27, nos primeiros 2,5 minutos em todas as temperaturas e potências estudadas houve o decréscimo da atividade enzimática da PAX.

No tempo de 10 minutos, acontece similarmente o fenômeno que ocorre na atividade enzimática da POD, ou seja, todas as amostras com exceção da amostra 300W a 25°C decrescem sua atividade. É sabido que neste estudo a produção de peróxido de hidrogênio foi bem elevada, podendo levar a ativação da enzima devido uma nova conformação da molécula e ativação de enzima dormente uma vez que se observa uma inativação reversível da enzima. E todas as

amostras se apresentam com menor atividade enzimática da PAX no tempo final de experimento com exceção da amostra 100W a 25°C.



**Figura 4.27** Atividade Enzimática da PAX em suco de acerola a 10°C.

Nenhum parâmetro foi significativo para o estudo da atividade enzimática da PAX. Verificou-se como ponto positivo que a atividade decresce durante o tratamento ultrassônico.

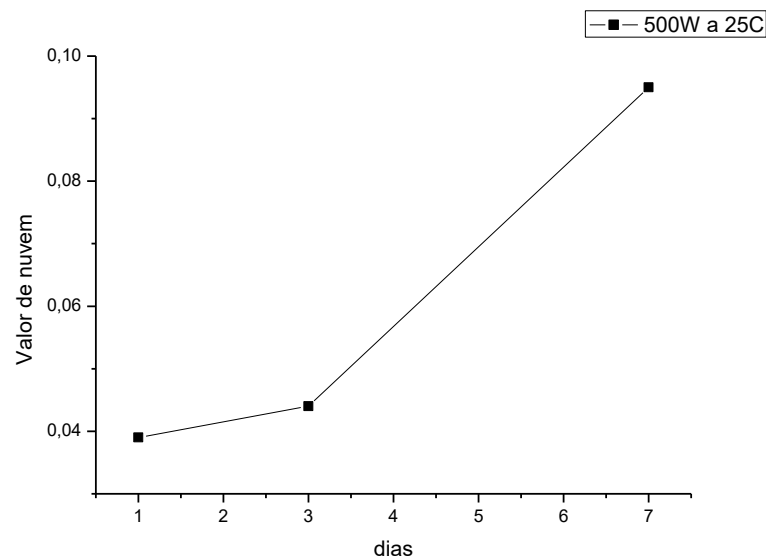
#### 4.2.16 Valor de nuvem

Em geral os valores de nuvem observados tendem a aumentar com o tempo nas amostras de suco sonificado, tanto nas temperaturas e potências estudadas. De acordo com Abid et al. (2013) o aumento do valor de nuvem pode ser atribuído pelo alto gradiente de pressão produzido pela cavitação durante a sonificação. Este fenômeno é responsável pela desintegração coloidal, dispersão e degradação de macromoléculas em moléculas menores, com isso o suco é homogeneizado. A cavitação produzida pelo tratamento com ultrassom pode trazer algumas reações tanto químicas como mecânicas para o produto processado, neste caso houve a mudança positiva de textura que foi a homogeneização adquirida (PRICE, 1992).

De acordo com Fonteneles et al., (2012), a estabilidade de nuvem é desejável já que afeta diretamente o sabor e a cor dos sucos de fruta. Este aumento do valor de nuvem é positivo pois indica uma maior homogeneidade no suco, sendo bastante apreciável a utilização do ultrassom para este fim. Estes resultados são observados também nos trabalhos com suco de

maçã, suco de laranja e suco de melão cataloupe respectivamente (ABID et al., 2013, TIWARI et al., 2009 e FONTENELES et al., 2012).

Um teste de estabilidade de nuvem ( Figura 4.28 ) foi realizado a temperatura de 25°C na potência de 500W onde verificou-se que o valor de nuvem aumenta com o passar dos dias, concluindo que a aplicação do ultrassom para o fim de homogeneização de sucos é bastante importante.



**Figura 4.28.** Teste de estabilidade de nuvem nas amostras de suco de acerola a 500W a 25°C.

O aumento de potência nesse experimento durante o tempo estudado, criou uma emulsão mais efetiva no suco (Tabela 4.28). Os parâmetros de potência e tempo neste estudo apresentam-se significantes ( Tabela 4.31).



**Tabela 4.28** Valor de nuvem do suco de acerola sonificado a 10, 25 e 40°C

t ( min)	Valor de nuvem		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>0,156 ± 0,00</b>	<b>0,156 ± 0,00</b>	<b>0,156 ± 0,00</b>
<b>10°C</b>			
2,5	0,095 ± 0,00	0,048 ± 0,00	0,371 ± 0,00
5	0,157 ± 0,00	0,193 ± 0,21	0,505 ± 0,00
10	0,214 ± 0,00	0,676 ± 0,00	1,070 ± 0,00
15	0,196 ± 0,00	0,818 ± 0,00	0,808 ± 0,00
<b>25°C</b>			
2,5	0,117 ± 0,00	0,292 ± 0,00	0,335 ± 0,00
5	0,212 ± 0,00	0,694 ± 0,00	0,649 ± 0,00
10	0,244 ± 0,00	0,437 ± 0,00	0,837 ± 0,00
15	0,325 ± 0,00	0,943 ± 0,00	1,003 ± 0,00
<b>40°C</b>			
2,5	0,119 ± 0,00	0,199 ± 0,00	0,403 ± 0,00
5	0,197 ± 0,00	0,432 ± 0,00	0,586 ± 0,00
10	0,227 ± 0,00	0,591 ± 0,00	1,259 ± 0,00
15	0,267 ± 0,00	0,657 ± 0,00	0,928 ± 0,00

De acordo com a Tabela 4.29, no estudo do valor de nuvem das amostras de suco de acerola sonificado com o frutoligossacarídeo, observamos que na menor potência estudada de 100W em todas as temperaturas do estudo (10, 23 e 40°C), o valor de nuvem decresce a medida do tempo de processamento. Pode ser explicado pelo fato do FOS poder adsorver ou absorver compostos em suspensão que dão características de nuvem ao suco e com isso o valor de nuvem diminui em relação ao controle e/ou o FOS pode ter precipitado por ação do ultrassom. Para a primeira suposição, é necessário estudos posteriores para esclarecer qual composto está sendo adsorvido ou absorvido no meio.

Na maior potência estudada de 500W é observado um maior valor de nuvem em todos os tempos e temperaturas. Os valores de nuvem tendem a aumentar nas potências de 300 e 500W semelhantemente a todas as amostras sem FOS e também nos estudos de manga até o tempo de sonificação de 15 minutos (SANTHIRASEGARAM et al., 2013), e também no suco de goiaba sonificado (CHENG et al., 2007). De acordo com a Tabela 31, apenas a potência é significativa para este estudo.

**Tabela 4.29** Valor de nuvem do suco de acerola com FOS a 10, 25 e 40°C.

t ( min)	Valor de nuvem		
	100W	300W	500W
<b>Suco não processado</b>	<b>0,025 ± 0,00</b>	<b>0,025 ± 0,00</b>	<b>0,025 ± 0,00</b>
<b>10°C</b>			
2,5	0,039 ± 0,00	0,071 ± 0,00	0,067 ± 0,00
5	0,024 ± 0,03	0,060 ± 0,00	0,022 ± 0,00
10	0,025 ± 0,00	0,001 ± 0,00	0,071 ± 0,00
15	0,007 ± 0,00	0,057 ± 0,00	0,055 ± 0,00
<b>25°C</b>			
2,5	0,042 ± 0,00	0,066 ± 0,00	0,089 ± 0,00
5	0,060 ± 0,00	0,082 ± 0,00	0,011 ± 0,00
10	0,002 ± 0,00	0,004 ± 0,00	0,032 ± 0,00
15	0,018 ± 0,00	0,045 ± 0,00	0,100 ± 0,00
<b>40°C</b>			
2,5	0,021 ± 0,00	0,036 ± 0,00	0,084 ± 0,00
5	0,026 ± 0,00	0,062 ± 0,00	0,042 ± 0,00
10	0,012 ± 0,00	0,001 ± 0,00	0,091 ± 0,00
15	0,002 ± 0,00	0,044 ± 0,00	0,108 ± 0,00

**Tabela 4.30** Análise de perturbação de variáveis para o valor de nuvem.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	0,07	0,09	0,4562
Temperatura (Q)	-0,08	0,16	0,6157
POT (L)	<b>0,45</b>	<b>0,09</b>	<b>0,0000</b>
POT (Q)	0,03	0,15	0,8298
Tempo (L)	<b>0,44</b>	<b>0,09</b>	<b>0,0000</b>
Tempo (Q)	-0,27	0,17	0,1281
Temperatura/POT	-0,09	0,11	0,4138
Temperatura/Tempo	-0,02	0,11	0,8215
POT/Tempo	0,07	0,12	0,5622

**Tabela 4.31** Análise de perturbação de variáveis para o valor de nuvem em suco de acerola prebiótico.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	0,01	0,01	0,6261
Temperatura (Q)	0,00	0,02	0,9184
POT (L)	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,0346</b>
POT (Q)	0,01	0,02	0,6780
Tempo (L)	-0,01	0,01	0,3711
Tempo (Q)	0,05	0,02	0,0547
Temperatura/POT	0,00	0,01	0,8914
Temperatura/Tempo	0,01	0,02	0,4184
POT/Tempo	0,00	0,02	0,8795

As variáveis mais importantes para o estudo do valor de nuvem sem adição de FOS foram potência e tempo, e para o suco prebiótico foi apenas a potência. Foi verificado que o valor de nuvem aumenta sem o uso do frutoligossacarídeo sendo positivo este parâmetro para o estudo.

### 4.3 Conclusão

Os parâmetros melhores apresentados e esperados para o suco de acerola estudado foi o valor de nuvem, a capacidade antioxidante pelos três métodos estudados (DPPH, ABTS e FRAP), atividade enzimática, vitamina C e carotenoides totais. As análises de pH e peróxido de hidrogênio apresentaram aumento de concentração ao longo do experimento. Para a análise de cor, esta apresentou diminuição dos parâmetros estudados, indicando perda ao longo do processo, como também a concentração de compostos fenólicos e as vitaminas lipossolúveis. Quando adicionamos o frutoligossacarídeo, tivemos um aumento na concentração de compostos fenólicos.

O tratamento ultrassônico para o suco de acerola foi bem tolerado para os parâmetros apresentados, principalmente por manter e aumentar a concentração de ácido ascórbico e capacidade antioxidante total ao longo do experimento. No resumo geral dos parâmetros envolvidos no suco de acerola com e sem frutoligossacarídeo é verificado que a qualidade nutricional do suco sofreu perdas e ganhos ao longo do processamento onde podem ser observadas conforme a Tabela 4.32.

**Tabela 4.32** Comparação geral dos efeitos do tratamento em ultrassom do suco de acerola com e sem frutoligossacarídeo.

	<i>Suco de Acerola</i>	
	<i>Sem frutoligossacarídeo</i>	<i>Com frutoligossacarídeo</i>
<b>Vitamina B1 e B2</b>	aumento (+)	aumento (+)
<b>Vitamina B3</b>	diminuição (-)	aumento (+)
<b>Vitamina B5</b>	diminuição (-)	aumento (+)
<b>Vitamina A</b>	diminuição (-)	diminuição (-)
<b>Pró-Vitamina D</b>	diminuição (-)	diminuição (-)
<b>Vitamina E</b>	diminuição (-)	aumento (+)
<b>Concentração de Carotenoides Totais</b>	aumento (+)	aumento (+)
<b>Concentração Ácido Ascórbico</b>	aumento (+)	aumento (+)
<b>Concentração de Fenólicos</b>	diminuição (-)	aumento (+)
<b>DPPH</b>	diminuição (-)	aumento (+)
<b>ABTS</b>	aumento (+)	aumento (+)
<b>FRAP</b>	aumento (+)	aumento (+)
<b>Concentração de Peróxido</b>	aumento (-)	aumento (-)
<b>pH</b>	aumento (-)	inalterado
<b>SST (°Brix)</b>	inalterado	aumento (+)
<b>Cor</b>	diminuição (-)	diminuição (-)
<b>Atividade Enzimática POD</b>	diminuição (+)	-
<b>Atividade Enzimática PAX</b>	diminuição (+)	-
<b>Valor de Nuvem</b>	aumento (+)	diminuição (-)

## REFERÊNCIAS

- AADIL, R. M.; ZENG, X. A.; HAN, Z.; E SUN, D. W. Effect of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. **Food Chemistry**, v.141, p. 3201 e 3206, 2013.
- ABID, M.; JABBAR S.; TAO W.; HASHIMM. M.; HU B.; LEI S.; ZHANG X.; ZENG X.; Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 20, p. 1182–1187, 2013.
- ABID, M.; JABBAR, S.; HU, B.; HASHIM, M. M.; WU, T.; LEI, S.; KHAN, M. A.; ZENG. Thermosonication as a Potential Quality Enhancement Technique of Apple Juice. **Ultrasonics Sonochemistry** n. 21 v.3, p. 984-990, 2014.
- ADEKUNTE A. O.; TIWARI B. K.; CULLEN P. J.; SCANNELL A. G. M.; O'DONNELL C. P. Effect of sonication on color, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice, **Food Chem.** v. 122, p. 500–507, 2010.
- ALVES C. Q.; BRANDÃO H. N.; DAVID J. M.; DAVID J. P.; LIMA L. S. Avaliação da atividade antioxidante de flavonóides. **Diálogos e ciência – Revista da rede ensino FTC**, v. 5, n. 12, p. 7- 8, 2007.
- BALL, G. F. M. Vitamins in foods: Analysis, bioavailability, and stability p. 785. **Boca Raton**: CRC Press, 2006.
- BALL, G. F. M. **Vitamins in foods: Analysis, Bioavailability, and Stability**. Taylor e Francis Group. New York, 2006.
- BALL, G. F. M. **Vitamins: Their Role in the Human Body**. Blackwell Publishing. London, 2004.
- BALL, G. F. M. **Water-soluble vitamin assays in human nutrition**. London: Chapman e Hall, p. 416, 1994.
- BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID J. M.; DAVID J. P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa dos organismos. **Química Nova**. v. 29, n. 1, p. 113-123, 2006.
- BHAT R.; KAMARUDDIN, N. S. B. C.; MIN-TZE, L.; KARIM, A. A. Sonication improves kasturi lime (Citrus microcarpa) juice quality. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 18, p. 1295–1300, 2011.
- BHATTACHERJEE, A. K.; TANDON, D. K.; DIKSHIT, A.; KUMAR, S. Effect of Pasteurization Temperature on Quality of A onla Juice during Storage, 2011.
- CHENG, L. H.; SOH, C. Y.; LIEW, S. C.; TEH, F. F. Effects of Sonication and Carbonation on Guava Juice Quality. **Food Chemistry** n. 1044, p. 1396-1401, 2007.
- DAMODARAN S.; PARKIN K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4<sup>o</sup>ed, Porto Alegre:Artmed, 2010.

DIAS D. R. C.; BARROS Z. M. P.; CARVALHO C. B. O.; HONORATO F. A.; GUERRA N. B.; AZOUBEL, P. M. Effect of sonication on soursop juice quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, p. 883 e 889, 2015.

ERCAN S. S.; SOYSAL C. Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. **Ultrason Sonochem.** Mar; v. 18, n.2, p. 689-95, 2011.

FONTELES, T. V.; COSTA, M. G. M.; DE JESUS, A. L. T.; DE MIRANDA, M. R. A.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Power ultrasound processing of cantaloupe melon juice: Effect son quality parameters. **Food Research International**, v. 48, p. 41-48, 2012.

GINER, M. J.; HIZARCI, Ö.; MARTÍ, N.; SAURA, D.; VALERO, M. Novel Approaches to Reduce Brown Pigment Formation and Color Changes in Thermal Pasteurized Tomato Juice. **European Food Research and Technology**, v. 236, n.3, p. 507-515, 2013.

GONNET, J. F. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisitedd1. A colorimetric definition using the CIELAB scale. **Food Chemistry**, v. 63, n.3, p. 409 e 415, 1998.

HEMEDA, H. M.; KLEIN, B. P. Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts., **New York**, v. 55, p. 184-185, 1990.

HERTOG, M. G. L., KROMHOUT, D., ARAVANIS, C., BLACKBURN, H., BUZINA, R., FIDANZA, F., GIAMPAOLI, S., JANSEN, A., MENOTTI, A., NEDELJKOVE, S., PEKKARINEN, M., SIMIC, B. S., TOSHIMA, H., FESKENS, E. J. M., HOLLMAN, P. C. H., KATAN, M. R. Flavonoid intake and long-term and risk of coronary heart disease and cancer risk in the Seven Countries study. **Archive sof Internal Medicine** v.155, 381–386, 1995.

HUANG, D.; OU B.; PRIOR R. L. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. **J. Agric. FoodChem.** v. 53, p. 1841–1856, 2005.

ITOO, S.; AIBA, M.; ISHIHATA, K. Comparison of ascorbic acid content in acerola fruit from different region depend on degree of mature, and its stability by processing. **Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology** n. 37, v. 726–729, 1990.

KARADAG, A.; OZCELIK, B. E.; SANER, S. Review of methods to determine antioxidant capacities. **Food Analytical Methods.** v. 2, p. 41-60, 2009.

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v.99, n.2, p.213-218, 1999.

KRINSKY, N. I. Carotenoids as antioxidants. **Nutrition.** 2001; v. 17, n.10, p. 815-817, 2001.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G; TRONCOSO, A. M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R.; Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos.; **Ciênc. Tecnol. Aliment.**; v. 25; p. 726-732; 2005.

LÓPEZ, P.; VERCET, A.; SÁNCHEZ, A. C.; BURGOS, J. Inactivation of tomato pectic enzymes by mano thermo sonication. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, v. 207, p. 249–252, 1998.

LUIZ, R. C.; HIRATA, T. A. M.; CLEMENTE, E. Cinética de inativação da polifenoloxidase e peroxidase de abacate (*Persea americana* Mill.). *Ciênc. agrotec.*, vol.31, n.6, p. 1766-1773, 2007.

MAGALHÃES, L. M.; SEGUNDO, M. A.; REIS, S.; E LIMA, J. L. F. C. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta*.v. 613, p. 1-19, 2008.

MARTINELLI, S. **Fabricantes de sucos**. Super/Hiper Dez, 46–55, 1998.

MASON, T. J.; RIERA, E.; VERCET A.; LOPEZ-BUEZA P. Application of Ultrasound, in: D.W. Sun (Ed.), **Emerging Technologies for Food Processing**, Elsevier Academic Press, Amsterdam, p. 323–351, 2005.

MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidases isozymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black rot. *Plant & Cell Physiology*, v.13, p. 1091–1101, 1972.

MENA, P.; VEGARA, S.; MARTÍ, N.; GARCÍA-VIGUERA, C.; SAURA, D.; VALERO, M. Changes on Indigenous Microbiota, Colour, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Pasteurised Pomegranate Juice. *Food Chemistry*, n. 141, v.3, p. 2122-2129, 2013.

MEZQUITA, P. C.; VIGOA, Y. G. La acerola. Fruta marginada de América con alto contenido en ácido ascórbico. *Alimentaria* n. 1, v.113–125, 2000.

MOHIDEEN, F. W.; SOLVAL, K. M.; LI, J.; ZHANG, J.; CHOULJENKO, A.; CHOTIKO, A.; PRUDENTE, A. D.; BANKSTON J.; D. SATHIVEL S. Effect of continuous ultrasonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *LWT - Food Science and Technology* v. 60, p. 563 e 570, 2015.

NEVES, L. C.; ALENCAR, S. M.; CARPES, S. T. Determinação da atividade antioxidante e do teor de compostos fenólicos e flavonóides totais em amostras de pólen apícola de *Apis mellifera*. *Braz. J. Food Technol.*, v. 2, n. 15, 2008.

NIKI, E. Assessment of Antioxidant Capacity in vitro and in vivo. *Free Radical Biology and Medicine*. v. 49, p. 503-515, 2010.

NILSSON, J.; PILLAI, D.; ONNING, G.; PERSSON, C.; NILSSON, A.; E AKESSON, B. Comparison of the 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzotiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) methods to assess the total antioxidant capacity in extracts of fruit and vegetables. *Molecular Nutrition and Food Research*, v. 49, p.239-246, 2005.

OLIVEIRA V. S.; RODRIGUES S.; FERNANDES F. A. N. Effect of high power low frequency ultrasound processing on the stability of lycopene. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 27, p. 586–591, 2015.

PIASEK, A.; KUSZNIEREWICZ, B.; GRZYBOWSKA, I.; MALINOWSKA-PAŃCZYK, E.; PIEKARSKA, A.; AZQUETA, A.; COLLINS, A. R.; NAMIEŚNIK, J.; BARTOSZEK, A. The Influence of Sterilization with Enbiojet® Microwave Flow Pasteurizer on Composition and Bioactivity of Aronia and Blue-Berried Honeysuckle Juices. **Journal of Food Composition and Analysis** v. 24, n. 6, p. 880-888, 2011.

PRICE, G. J. IN: PRICE G. J. (Eds.), Current Trends in Sonochemistry, **Royal Society of Chemistry**, UK, 1992.

PRIOR, R. L.; XIANLI, W.; SCHAICH, K. Standardized methods for determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v. 53, n. 10, p. 4290-4302, May 2005.

RAWSON, A.; PATRAS, A.; TIWARI, B. K.; NOCI, F.; KOUTCHMA, T.; E BRUNTON, N. B. K. Effect of thermal and nonthermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: review of recent advances. **Food Research International**, v. 44, p. 1875 e 1887, 2011.

REIN, M. J.; HEINONEN, M. Stability and enhancement of berry juice color. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n.10, 3106 e 3114, 2004. <http://dx.doi.org/10.1021/jf035507i>.

RICHARDSON, T.; HYSLOP, D. B. Enzymes. in: FENNEMA, O.R. **Food chemistry**. 10 ed. New York: Mareei Dekker. Cap.6. p.371-476, 1985.

SANTOS-BUELGA, C.; SCALBERT, A., Proanthocyanidins and tannin-like compounds – nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health **J. Sci. Food Agric.** n. 80, p. 1094–1117, 2000.

SAEEDUDDIN, M.; ABID, M.; JABBAR, S.; WU, T.; HASHIM, M. M.; AWAD, F. N.; HU, B.; LEI, S.; ZENG, X. Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions. **LWT - Food Science and Technology** v.64, p. 452 e 458, 2015.

SANTHIRASEGARAM, V.; RAZALI, Z.; SOMASUNDRAM, C. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. **Ultrason. Sonochem.** 20, 1276–1282, 2013.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**. 22, 1999.

SOUSA, C. M. M.; SILVA, H. R.; VIEIRA, G. M.; AYRES, M. C. C.; COSTA, C. S.; ARAÚJO, D. S. Fenóis totais e atividade antioxidante decinco plantas medicinais. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.



TIWARI, B. K.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; O'DONNELL, C. P.; CULLEN P. J. Effects of sonication on the kinetics of orange juice quality parameters, *J. Agric. Food Chem.* v. 56 p. 2423–2428, 2008.

VENDRAMINI, A. L.; TRUGO, L. C. Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.) at three stages of maturity. *Food Chemistry*. n. 71, v. 195–198, 2000.

VILLAMIEL, M.; DE JONG, P. Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins and native enzymes of milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.48, p.472-478, 2000.

WISSEMANN, K. W.; LEE, C. Y. Polyphenoloxidase activity during grape maturation and wine production, *Am. J. Enol. Vitic.*, v. 31, p. 206–211, 1980.

WHITAKER, J. R. *Catalase and Peroxidase*. 2 ed., New York. Marcel Dekker- Inc., p. 565-577, 1994.

WHO. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. World Health Organization, Geneva, 916pp. *Technical Report Series*, 2003.

## 5 EFEITO DO PLASMA FRIO EM SUCO DE ACEROLA E SUCO DE ACEROLA PREBIÓTICO

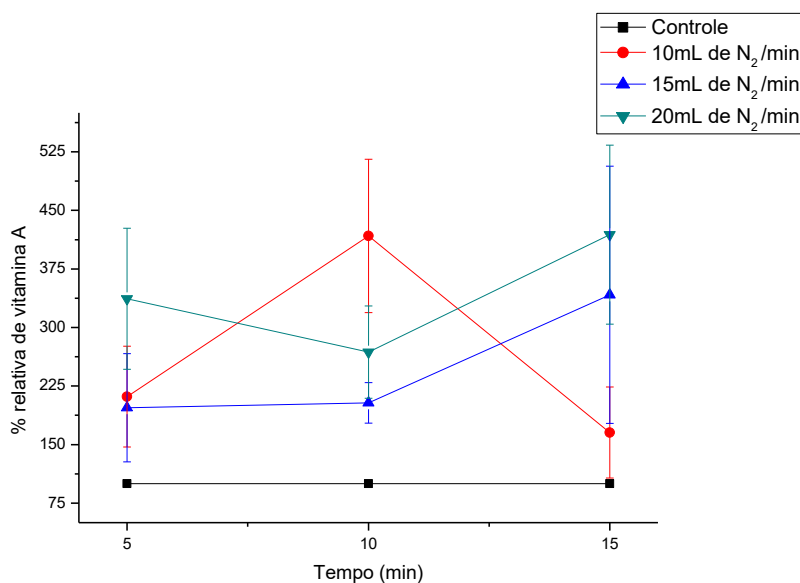
### 5.1 Processamento do suco de acerola em plasma a frio

A obtenção do suco para o processamento em plasma a frio foi o mesmo utilizado do capítulo anterior. Diante de um planejamento experimental com 9 pontos mais 1 repetição do ponto central, foram utilizados 10 mL de amostra do suco de acerola em um equipamento de plasma frio (Plasma Etch ®, modelo PE50). As amostras foram colocadas em três tubos de polipropileno dentro da câmara com fluxos variando de 10, 15 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min, potência máxima de 80 kV em períodos de 10, 15 e 20 minutos.

### 5.2 Resultados e discussão

#### 5.2.1 Vitamina A

De acordo com a Figura 5.1, podemos observar que o tratamento com plasma frio favoreceu o aumento da vitamina A em todos os tratamentos, chegando a um aumento de 525%, este parâmetro é bastante apreciável já que a vitamina A é bastante sensível aos processamentos, principalmente os térmicos. De acordo com a análise estatística apresentada na Tabela 5.1, as variáveis não se apresentaram significantes.



**Figura 5.1** Vitamina A após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola.

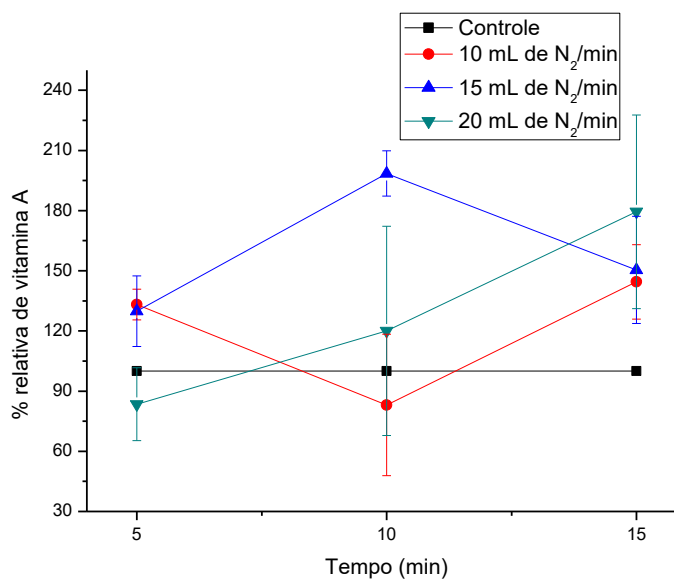
Segundo Ball (2006), a vitamina A pode estar protegida contra agentes oxidantes, na matriz lipídica do fruto, como por exemplo pela vitamina E e outros antioxidantes que podem estar presentes. Diferentemente do que ocorreu no trabalho de Fernandes et al. (2015), onde cubos de maçãs foram submetidos ao tratamento ultrassônico, a maioria após o processamento, mostrou decréscimo da quantidade de vitamina A em quase todos os tratamentos submetidos.

**Tabela 5.1** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Vitamina A

Variáveis	Efeito	Erro	P
Tempo (L)	60,28	105,98	0,6103
Tempo (Q)	-35,63	183,55	0,8602
Fluxo (L)	76,71	105,98	0,5204
Fluxo (Q)	111,22	183,55	0,5900
Tempo x Fluxo	64,08	129,79	0,6521

De acordo com a Figura 5.2, podemos observar que o tratamento com plasma frio favoreceu o aumento da vitamina A em todos os tratamentos chegando a um aumento de 215%, este parâmetro é bastante apreciável já que a vitamina A é bastante sensível aos processamentos, principalmente os térmicos. Os mesmos resultados foram observados para as amostras de suco de acerola sem o frutoligossacarídeo. Ball (2006) relata que a vitamina A pode estar protegida na matriz lipídica do fruto por outros agentes antioxidantes presentes como por exemplo a vitamina E.

Segundo Correia (2008), a estabilidade de vitaminas difere entre os alimentos mesmo quando estes são submetidos às mesmas condições de processamento e estocagem. Isso se deve, principalmente, à matriz de cada alimento que interage de forma diferente com as vitaminas, protegendo-as, e fazendo com que os efeitos do processamento sejam diferentes.

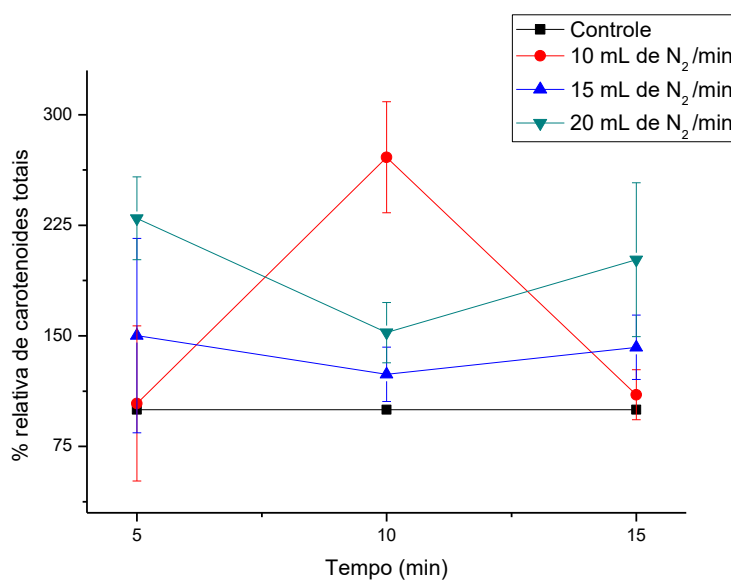


**Figura 5.2** Vitamina A após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola prebiótico.

Nenhuma variável foi significante para este estudo. O que se mostrou positivo foi o aumento da quantidade de vitamina A após o processamento em plasma tanto sem ou com o frutoligossacarídeo.

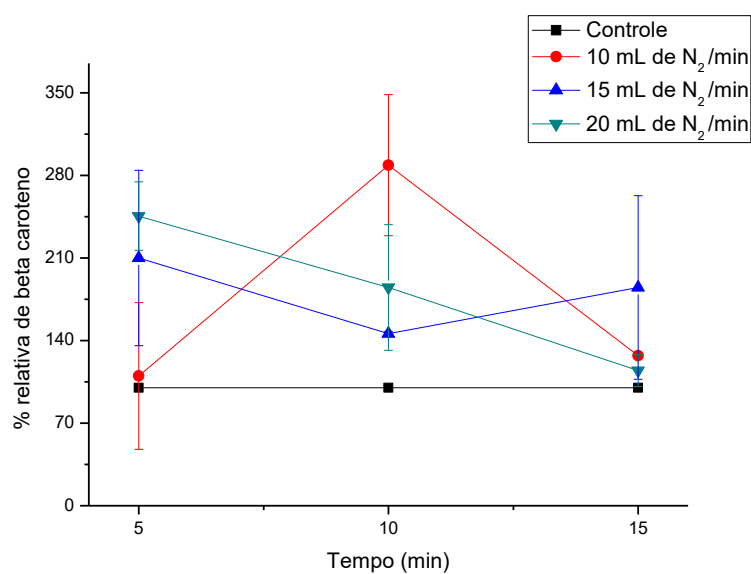
### 5.2.2 Carotenoides totais e $\beta$ -caroteno

Observando a Figura 5.3, tivemos um aumento da concentração de carotenoides totais em todos os tratamentos submetidos do suco de acerola. A concentração de carotenoides totais que aumentaram chegou a 300% no tempo de 10 minutos e fluxo de 10 mL de N<sub>2</sub>/min. Este parâmetro está diretamente ligado aos resultados de cor observados onde os valores de L\*, C\* e h aumentaram, melhorando assim, a cor das amostras analisadas. De acordo com Krinsky (1991), o aumento em carotenóides extraíveis pode beneficiar os consumidores preocupados com a saúde, pois estes compostos possuem inúmeras vantagens, tais como a redução do risco de doenças cardiovasculares e prevenção de câncer. De acordo com a Tabela 5.2, nenhum dos parâmetros foram significantes.



**Figura 5.3** Carotenoides totais após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola.

De acordo com a Figura 5.4, é verificado o aumento da concentração de beta caroteno em todos os tratamentos com plasma chegando a um acréscimo de quase 350%.



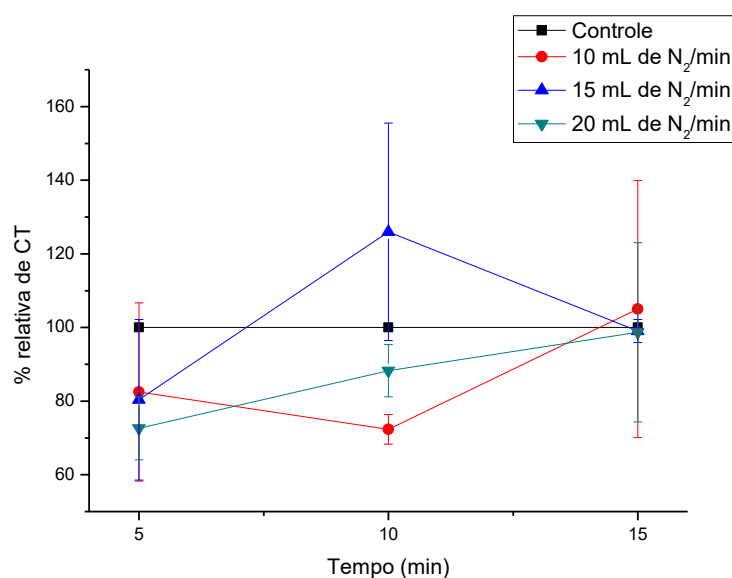
**Figura 5.4** Beta caroteno após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola.

Verificando a análise estatística (Tabela 5.2), os parâmetros estudados não demonstraram significância para as concentrações de carotenoides totais e beta caroteno estudados.

**Tabela 5.2** Análise de perturbação de variáveis para a concentração de carotenoides totais

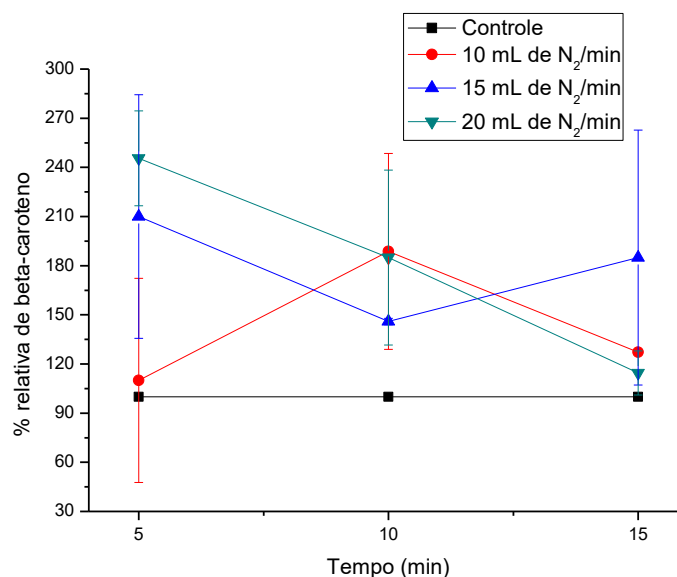
Variáveis	Efeito	Erro	P
Tempo (L)	- 46,19	63,28	0,5201
Tempo (Q)	- 82,30	109,61	0,5115
Fluxo (L)	6,37	63,28	0,9344
Fluxo (Q)	- 3,53	109,61	0,9828
Tempo x Fluxo	-74,09	77,50	0,4129

Analisando a Figura 5.5, temos uma perda da concentração de carotenoides totais nos fluxos de 10 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min. A maior perda de carotenoides se deu no tratamento com fluxo de 10 mL de N<sub>2</sub>/min no tempo de 10 minutos chegando a quase 35%. No fluxo de 15 mL de N<sub>2</sub>/min há um aumento da quantidade de carotenoides totais apenas no tempo de 10 minutos chegando a quase 55%. Nas amostras sem o frutoligossacarídeo em todos os ensaios houve um aumento da concentração desse composto. Segundo a Tabela 5.3, nenhum dos parâmetros do ensaio se mostraram significantes.

**Figura 5.5** Quantidade relativa de carotenoides totais em plasma frio sobre amostras de suco de acerola prebiótico.

De acordo com a Figura 5.6, é verificado o aumento da concentração de beta caroteno em todos os tratamentos com plasma chegando a um acréscimo de quase 280%. Os resultados foram os mesmos encontrados nas amostras sem o frutoligossacarídeo que em todos os ensaios aumentaram a quantidade do beta caroteno presente nas amostras. Esse efeito é apreciável pois

segundo Burton (1989) o beta caroteno tem poder redutor e reage facilmente a estruturas que podem sofrer oxidação. Segundo a Tabela 5.3, nenhum dos parâmetros foram significantes.



**Figura 5.6**  $\beta$ -caroteno após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola prebiótico

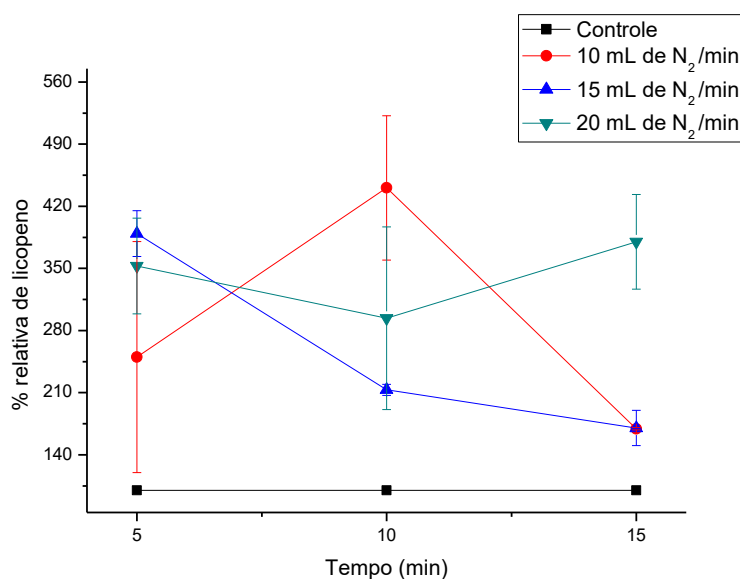
**Tabela 5.3** Análise de perturbação de variáveis para a concentração de beta-caroteno

Variáveis	Efeito	Erro	P
Tempo (L)	-10,03	65,98	0,8923
Tempo (Q)	-52,20	114,28	0,6820
Fluxo (L)	32,75	65,98	0,6511
Fluxo (Q)	78,71	114,28	0,5401
Tempo x Fluxo	-16,97	80,80	0,8520

Nenhuma das variáveis foram significantes para o estudo da concentração de carotenoides e beta-caroteno nas amostras. Houve uma diminuição da quantidade de carotenoides totais após a adição de frutoligossacarídeo nas amostras de suco.

### 5.2.3 Licopeno

Analisando a Figura 5.7, verificamos que em todos os tratamentos há um aumento da quantidade de licopeno, chegando a quase 560% no tempo de 10 minutos e menor fluxo de 10 mL de N<sub>2</sub>/min. De acordo com a Tabela 5.4, o fluxo e o tempo não se apresentaram significantes.



**Figura 5.7** Licopeno após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola.

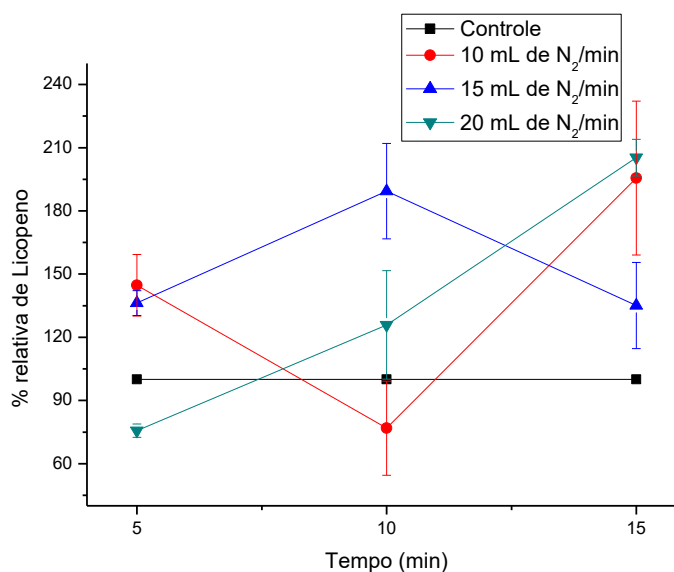
**Tabela 5.4** Análise de perturbação de variáveis para a concentração de licopeno

Variáveis	Efeito	Erro	P
Tempo (L)	-90,88	107,94	0,4602
Tempo (Q)	-61,39	186,97	0,7600
Fluxo (L)	55,42	107,95	0,6404
Fluxo (Q)	113,81	186,97	0,5905
Tempo x Fluxo	53,98	132,21	0,7101

Os maiores resultados de licopeno foram apresentados pelos fluxos de 10 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min assim como também na quantidade de ácido ascórbico dessa forma, podemos explicar que a manutenção do licopeno se deu pelo ácido ascórbico ser um antioxidante solúvel em água e seus mecanismos antioxidantes estarem relacionados com a sua capacidade de eliminar o oxigênio, atuar como um redutor e como um quelante de metais ( BOU et al. 2011).

Segundo a Figura 5.8, foi verificado que em todos os tratamentos há um aumento da quantidade de licopeno, chegando a quase 220% no tempo de 15 minutos e menor fluxo de 10 mL de N<sub>2</sub>/min. Resultados similares foram observados para os tratamentos sem o frutoligossacarídeo. O menor resultado de quantidade de licopeno se deu no fluxo de 10 mL de N<sub>2</sub>/min no tempo de 10 minutos, cerca de 40%. Assim, concluímos de maneira geral que a presença do frutoligossacarídeo não influenciou a concentração desse composto nas amostras. Nenhum dos parâmetros foi significativo para este estudo.



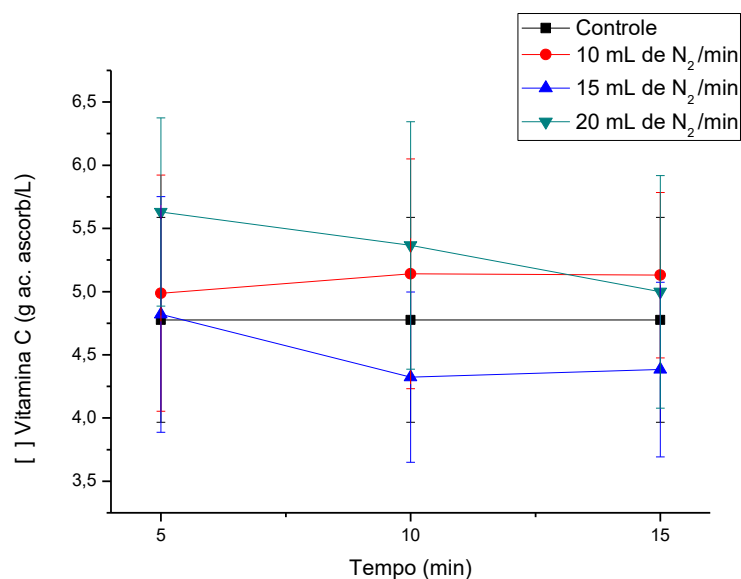


**Figura 5.8** Licopeno após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola prebiótico.

Nenhum dos parâmetros foram significantes para este estudo. A concentração de licopeno aumentou tanto para o suco sem ou com frutoligossacarídeo.

#### 5.2.4 Vitamina C

Em nosso experimento, as amostras submetidas aos fluxos de 10 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min (Figura 5.9) apresentaram maiores concentrações de vitamina C chegando a quase 135% no tempo de 10 minutos. Já a amostra com fluxo de 15 mL de N<sub>2</sub>/min evidenciou uma perda de quase 80% de ácido ascórbico. De acordo com a Tabela 5.5, o fluxo quadrático é o único que se apresentou significativo nesse estudo.



**Figura 5.9** Ácido ascórbico após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola.

Conforme Klimbackac (2007), a maioria dos antioxidantes presentes nos sucos de frutas é o ácido ascórbico e polifenóis, principalmente flavonoides. A vitamina C proporciona proteção contra a oxidação descontrolada no meio aquoso da célula, devido ao seu alto poder redutor. Esta substância no organismo, ajuda a diminuir a incidência de doenças degenerativas, como o câncer, as doenças cardiovasculares, inflamações, disfunções cerebrais, e a retardar o envelhecimento precoce (PIMENTEL; FRANCKI; GOLLÜCKE, 2005).

**Tabela 5.5** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Vitamina C

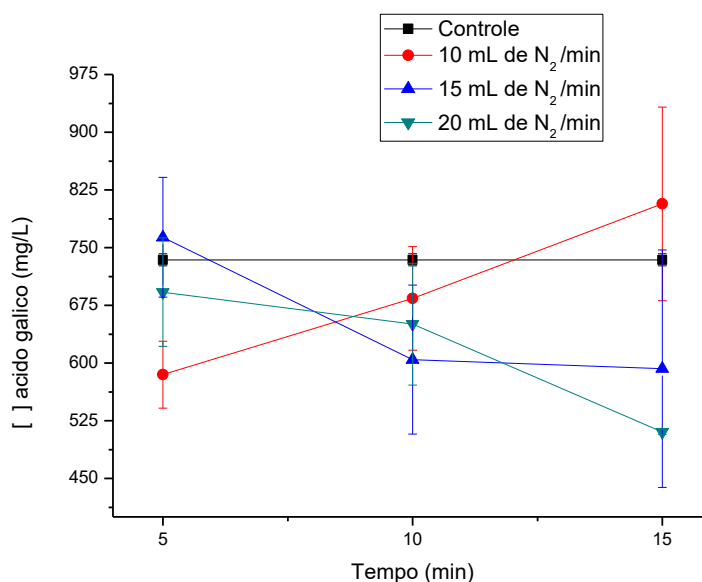
Variáveis	Efeito	Erro	P
Tempo (L)	-0,31	0,13	0,0802
Tempo (Q)	0,09	0,20	0,6700
Fluxo (L)	0,24	0,13	0,1387
Fluxo (Q)	<b>1,40</b>	<b>0,20</b>	<b>0,0062</b>
Tempo x Fluxo	-0,38	0,14	0,0769

As amostras submetidas aos fluxos de 10 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min (Apêndice) apresentaram maiores concentrações de vitamina C chegando a quase 135% no tempo de 10 minutos atingindo os mesmos resultados das amostras sem o frutoligossacarídeo. A amostra com fluxo de 15 mL/min evidenciou uma perda de quase 58% de ácido ascórbico no tempo de 15 minutos. Os resultados das amostras de suco com frutoligossacarídeo foram os mesmos apresentados sem a adição de FOS, ou seja, a incorporação do ingrediente funcional não resultou alteração no processamento. Apenas o fluxo quadrático se apresentou significativo para este estudo.

A variável mais importante para este estudo foi o fluxo para os dois ensaios do suco com ou sem FOS. A quantidade de ácido ascórbico aumentou após aplicação de plasma frio, tanto nas amostras com ou sem frutoligossacarídeo.

### 5.2.5 Fenólicos totais

De acordo com a Figura 5.10, a amostra submetida ao maior fluxo de 20 mL N<sub>2</sub>/min teve maior degradação de compostos fenólicos, chegando próximo aos 68%. Almeida et. al., (2015), em seu estudo com suco de laranja obteve perdas de compostos fenólicos no tratamento com plasma frio atmosférico.

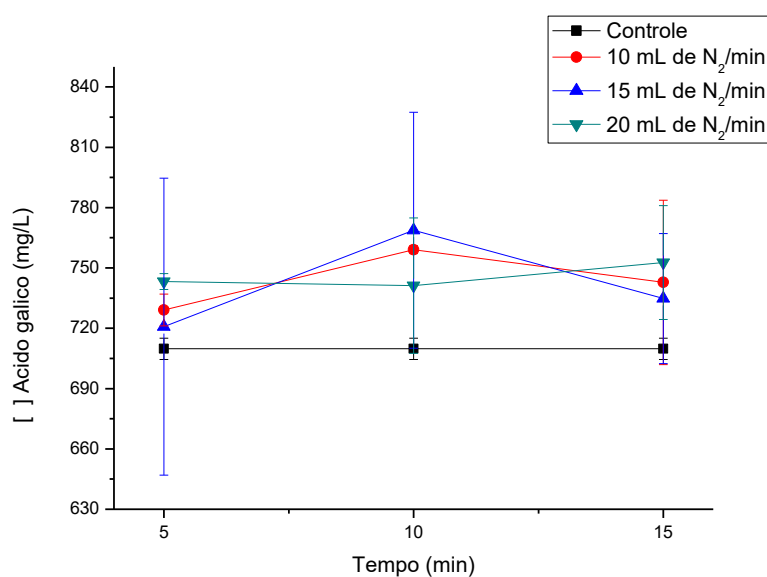


**Figura 5.10** Fenólicos totais após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola.

Já a amostra submetida ao menor fluxo 10 mL de N<sub>2</sub>/min, nos primeiros 5 minutos de experimento houve uma perda de 77%, mas nos tempos subsequentes de 10 e 15 minutos há um aumento da concentração de compostos fenólicos chegando no tempo maior de experimento próximo aos 128%. Segundo Kovacevic et. al., (2016), que analisou suco de romã tratado por plasma frio, verificou que a maioria das amostras tiveram um aumento considerável da quantidade de compostos fenólicos cerca de 33,03% ao fim do ensaio. De acordo com a Tabela 5.6, o tempo e o fluxo não se apresentaram significantes para este experimento.

Observando a Figura 5.11, todos os tratamentos que foram adicionados o frutoligossacarídeo, obtiveram maiores concentrações de compostos fenólicos. Diferente do que ocorreu nas amostras do capítulo anterior sem o frutoligossacarídeo. Perez (2002), reportou que

amostras tratadas com plasma pôde evidenciar a perda da concentração de compostos fenólicos durante aplicação do tratamento. Nenhuma das variáveis se apresentaram significantes.



**Figura 5.11** Fenólicos totais após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola prebiótico.

A associação do frutoligossacarídeo ao suco pareceu fornecer proteção aos compostos fenólicos durante o tratamento e assim preservou a quantidade desses fitoquímicos até o final do experimento. Esses resultados foram semelhantes aos de Kovacevic et al (2016), quando estudou a aplicação de plasma em sucos de romã verificando que a maioria das amostras obtiveram um aumento considerável da quantidade de compostos fenólicos cerca de 33,03% ao fim do ensaio.

**Tabela 5.6** Análise de perturbação de variáveis para a concentração de compostos fenólicos

Variáveis	Efeito	Erro	P
Tempo (L)	-43,53	61,80	0,5308
Tempo (Q)	24,10	107,02	0,8332
Fluxo (L)	-74,28	61,79	0,3114
Fluxo (Q)	2,52	107,68	0,9842
Tempo x Fluxo	-201,84	75,68	0,0701

Nenhuma das variáveis foram significantes para este estudo. Após o uso do frutoligossacarídeo, aumentou a quantidade de compostos fenólicos nas amostras de suco de acerola.

### 5.2.6 Capacidade antioxidante por DPPH

De acordo com a Tabela 5.7, verificamos que a concentração maior da capacidade antioxidante se dá nos tempos de 5 e 15 minutos no maior fluxo de processamento 20 mL de N<sub>2</sub>/min. Já as menores concentrações se deram em todos os tempos no fluxo intermediário de 15 mL de N<sub>2</sub>/min em relação a amostra controle. Em geral, a capacidade antioxidante diminuiu em todas os ensaios propostos, podendo ser explicado pela diminuição da concentração de compostos fenólicos presentes. Segundo a Tabela 5.8, nenhuma das variáveis se apresentaram significante.

**Tabela 5.7** Capacidade antioxidante por DPPH em amostras de suco de acerola em plasma frio.

DPPH mg/mL	
Suco não processado	87,42 ± 11,91
5 min	
10	84,00 ± 14,50
15	54,51 ± 5,83
20	89,93 ± 15,53
10 min	
10	53,00 ± 8,90
15	46,32 ± 16,31
20	42,85 ± 3,73
15 min	
10	47,37 ± 12,10
15	55,70 ± 7,59
20	87,20 ± 9,15

**Tabela 5.8** Análise de perturbação de variáveis para a concentração de DPPH (ppm trolox (mg/mL))

Variáveis	Efeito	Erro	P
Tempo (L)	-12,72	12,42	0,3803
Tempo (Q)	44,79	21,51	0,1302
Fluxo (L)	11,87	12,42	0,4111
Fluxo (Q)	30,43	21,51	0,2541
Tempo x Fluxo	16,95	15,21	0,3533

Analisando a Tabela 5.9, a tendência geral observada é o aumento da concentração da capacidade antioxidante em todos os ensaios, que podemos correlacionar com o aumento da concentração de compostos fenólicos neste estudo apresentado. Segundo Abid et. al., (2013), a capacidade antioxidante das amostras é dependente dos compostos antioxidantes presentes, ou seja, ácido ascórbico e compostos fenólicos, no caso do experimento houve aumento da concentração de ácido ascórbico e compostos fenólicos nos fluxos de 10 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min

ratificando o aumento das amostras estudadas no experimento. Nenhum dos parâmetros foram significantes para este estudo.

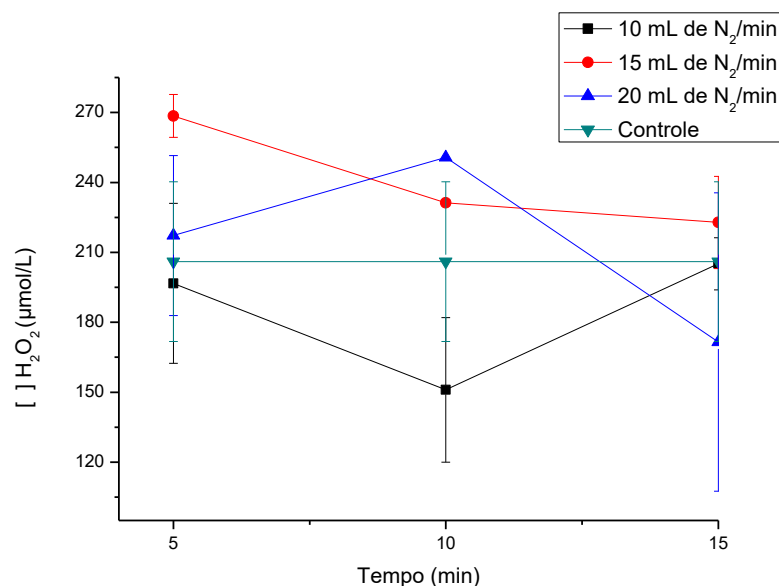
**Tabela 5.9** Capacidade antioxidante por DPPH em amostras de suco de acerola prebiótico em plasma frio.

DPPH mg/mL	
Suco não processado	52,00 ± 9,49
5 min	
10	134,81 ± 26,50
15	52,67 ± 8,88
20	121,04 ± 77,31
10 min	
10	44,19 ± 7,58
15	85,18 ± 14,69
20	51,19 ± 10,16
15 min	
10	188,21 ± 82,30
15	62,30 ± 7,60
20	190,33 ± 29,40

Nenhuma das variáveis foram significantes para este estudo. Quando adicionamos o frutoligossacarídeo obtivemos um aumento na capacidade antioxidante nas amostras de suco de acerola.

### 5.2.7 *Peróxido de hidrogênio*

De acordo com a Figura 5.12, os tratamentos que obtiveram maiores concentrações de peróxido de hidrogênio foram os de maiores fluxos 15 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min, já o melhor tratamento com menor produção de peróxido de hidrogênio foi o tratamento com fluxo de 10 mL de N<sub>2</sub>/min, mais precisamente no tempo de 10 minutos.



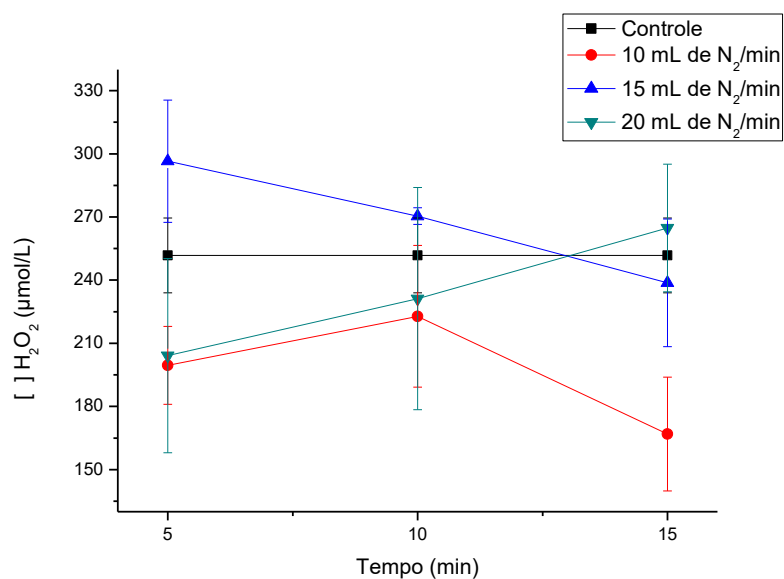
**Figura 5.12** Peróxido de Hidrogênio após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola.

De acordo com Pankaj et. al., (2014), isso pode ser explicado devido o plasma criar espécies de oxigênio como ( $O_2^+$ ,  $O_2^-$ ,  $O_3$ ,  $O^+$ ,  $O^-$ , ozônio ionizado, oxigênio excitado e elétrons livres), estas espécies reagem com componentes da matriz orgânica do suco de acerola formando  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  e hidrocarbonetos de baixa massa molecular nos maiores fluxos de 15 e 20 mL de  $N_2$ /min produzindo uma maior excitação elétrica nas amostras em estudo. Em geral, a melhor condição exibida para a menor produção de concentração de peróxido foi no menor fluxo representado. Na Tabela 5.10 de análise de perturbação de variáveis nenhuma variável se apresentou significativa.

**Tabela 5.10** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Peróxido de Hidrogênio.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Tempo (L)	-27,66	30,36	0,4232
Tempo (Q)	5,28	52,59	0,9245
Fluxo (L)	28,90	30,36	0,4178
Fluxo (Q)	-84,22	52,59	0,2041
Tempo x Fluxo	-27,03	37,19	0,5152

De acordo com a Figura 5.13, o tratamento que obteve maior concentração de peróxido de hidrogênio foi o de fluxo 15 mL de  $N_2$ /min. Já o melhor tratamento com menor produção de peróxido de hidrogênio foi o tratamento com fluxo de 10 mL de  $N_2$ /min, mais precisamente no tempo de 15 minutos, semelhantemente com o que ocorreu no tratamento sem adição de frutoligossacarídeo, que no menor fluxo (10 mL de  $N_2$ /min) apresentou a menor concentração de peróxido produzida. Nenhuma das variáveis se apresentaram significantes.



**Figura 5.13** Peróxido de Hidrogênio após aplicação de plasma frio em amostras de suco de acerola prebiótico.

Nenhuma das variáveis foi significante para este estudo. O parâmetro mais apreciável foi a diminuição da quantidade de peróxido de hidrogênio após aplicação da tecnologia de plasma frio nas amostras de suco de acerola com ou sem frutoligossacarídeo.

### 5.2.8 Cor

Os parâmetros de cor para o suco de acerola são propostos por L\*(luminosidade), C\* (chroma) e h (ângulo de tonalidade) onde as propriedades de cor estão melhores representadas. Avaliando os parâmetros de cor (L\*, C\* h) em relação a amostra controle (Tabela 5.11), as medidas aumentam em todos os tratamentos com exceção do valor de chroma no tempo de 15 minutos nos fluxos de 10 e 20 mL de N<sub>2</sub>/min.



**Tabela 5.11** Atributos de cor para o suco de acerola em plasma frio.

	Atributos de cor		
	$L^*$	$C^*$	$h$
Suco não processado	47,54 ± 0,07	41,44 ± 0,13	52,39 ± 0,06
5 min			
10	52,62 ± 0,15	42,36 ± 0,20	59,37 ± 0,11
15	52,07 ± 0,08	42,43 ± 0,34	58,75 ± 0,15
20	50,74 ± 0,32	43,53 ± 0,49	56,21 ± 0,17
10 min			
10	52,63 ± 0,10	42,00 ± 0,13	60,03 ± 0,04
15	53,40 ± 0,41	42,87 ± 0,52	62,76 ± 0,12
20	53,43 ± 0,62	42,94 ± 0,78	60,76 ± 0,21
15 min			
10	50,99 ± 0,29	39,58 ± 0,35	61,32 ± 0,11
15	51,12 ± 0,11	43,20 ± 0,18	58,85 ± 0,06
20	54,12 ± 0,25	37,41 ± 0,33	62,66 ± 0,08

Já analisando os dados em relação ao tempo conjuntamente com o fluxo de processamento, verificamos que a luminosidade se apresenta maior no tempo intermediário de 10 minutos e fluxo de 20 mL de  $N_2$ /min. Assim, temos um processamento onde menos alterações de escurecimento ocorreu, já que este parâmetro contribui para descrever o grau de degradações ocorridas nas amostras, podendo também está aliada a decomposição ou não dos carotenoides. Diferentemente do que ocorreu no trabalho de Misra et. al, (2014) que analisou tomates tratados em plasma frio, verificou em todos os tratamentos que a luminosidade foi inferior a amostra controle indicando a possibilidade de degradação de pigmentos carotenóides. Já os valores de tonalidade  $h^*$  é maior também no processamento a 10 min em todas as amostras, este fenômeno pode ser atribuído à degradação de compostos fenólicos presentes (REIN e HEINONEN, 2004) e o menor valor foi atribuído a amostra controle, indicando assim que em todos os processamentos houveram degradações. Os valores de cromaticidade  $C^*$  indica a saturação de cor (GONNET, 1998). Os maiores valores de chroma mostra uma cor mais viva, sendo observado nos tempos de 5 e 10 minutos em todos os fluxos estudados. Assim podemos concluir que os melhores parâmetros de cor apresentados se detém nas amostras do processamento em 10 minutos e fluxo de 20 mL de  $N_2$ /min.

Avaliando os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $C^*$   $h$ ) em relação a amostra do suco não processado (Tabela 5.12), as medidas permaneceram praticamente inalteradas em todos os tratamentos, ou seja, não houve mudança.

**Tabela 5.12** Atributos de cor para amostra de suco de acerola prebiótico em plasma frio

Atributos de cor			
Suco de acerola prebiótico			
	<i>L*</i>	<i>C*</i>	<i>h</i>
Suco não processado	51,62 ± 0,13	44,57 ± 0,19	57,04 ± 0,09
5 min			
10	51,88 ± 0,17	44,00 ± 0,18	57,96 ± 0,17
15	50,49 ± 0,23	42,21 ± 0,24	57,64 ± 0,09
20	51,88 ± 0,17	44,00 ± 0,18	57,96 ± 0,17
10 min			
10	51,62 ± 0,13	44,57 ± 0,19	57,04 ± 0,09
15	50,46 ± 0,45	43,09 ± 0,50	56,29 ± 0,18
20	51,81 ± 0,10	44,29 ± 0,11	57,72 ± 0,07
15 min			
10	50,39 ± 0,06	43,03 ± 0,09	57,13 ± 0,07
15	51,95 ± 0,31	43,45 ± 0,53	58,07 ± 0,11
20	51,34 ± 0,39	44,37 ± 0,56	57,20 ± 0,14

Em geral, quando se aumentou o tempo e/ou fluxo, houve uma tendência total de melhorar a cor nas amostras analisadas.

### 5.3 Conclusão

Este experimento demonstrou poucas mudanças observadas com adição do frutoligossacarídeo no suco de acerola. Os parâmetros de cor, concentração de fenólicos e quantidade de carotenoides totais apresentaram mudanças, apresentando-se melhores as amostras não tratadas com o frutoligossacarídeo. Os demais padrões como concentração de peróxido, vitamina C, licopeno, beta caroteno, vitamina A e capacidade antioxidante, seguiram semelhantes aos resultados sem adição do FOS. As propriedades do suco prebiótico de acerola processado no plasma frio foram bem toleradas quando comparados com o suco sem adição do frutoligossacarídeos. No resumo geral dos parâmetros envolvidos no suco de acerola com e sem frutoligossacarídeo tratado com plasma frio, foi verificado que os ganhos na qualidade nutricional do suco são bem maiores que as perdas observadas, conforme a Tabela 5.13.

**Tabela 5.13.** Comparação geral dos efeitos do tratamento em plasma frio do suco de acerola com e sem frutoligossacarídeo.

	<i>Suco de Acerola</i>	
	<i>Sem frutoligossacarídeo</i>	<i>Com frutoligossacarídeo</i>
<b>Cor</b>	Aumento (+)	Inalterado
<b>Concentração de Peróxido</b>	Diminuição (+)	Diminuição (+)
<b>Concentração Ácido Ascórbico</b>	Aumento (+)	Aumento (+)
<b>Concentração de Fenólicos</b>	Diminuição (-)	Aumento (+)
<b>Concentração de Vitamina A</b>	Aumento (+)	Aumento (+)
<b>Concentração de Carotenoides Totais</b>	Aumento (+)	Diminuição (-)
<b>Concentração de <math>\beta</math> caroteno</b>	Aumento (+)	Aumento (+)
<b>Concentração de Licopeno</b>	Aumento (+)	Aumento (+)
<b>DPPH</b>	Diminuição (-)	Aumento (+)

## REFERÊNCIAS

- ABID, M.; JABBAR, S.; TAO, W.; HASHIMM, M.; HU B, LEI S.; ZHANG X.; ZENG, X. Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. **Ultrasonics Sonochemistry** v. 20, p. 1182–1187, 2013.
- ALMEIDA, F. D. L.; CAVALCANTE, R. S.; CULLEN, P. J.; FARIAS, J. M.; BOURKE P.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 32, 127–135, 2015.
- BALL, G. F. M. Vitamins in foods: Analysis, bioavailability, and stability p. 785. **Boca Raton**: CRC Press, 2006.
- BORTOLOTTI C. T.; SANTOS K. G.; FRANCISQUETTI M, C. C.; DUARTE C. R.; BARROZO, M. A. S. Hydrodynamic study of a mixture of West Indian cherry residue and soybean grains in a spouted bed Can. **J. Chem. Eng.**, v. 91, p. 1871–1880, 2013.
- BOGAERTS, A.; NEYTSA, E.; GIJBELSA, R.; MULLENB, V. D. J. Gas discharge combined processing techniques, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.43, p. 265–285, 2003.
- BOU, R.; BOON, C.; KWEKU, A.; HIDALGO, D.; DEKKER, E. A. Effect of different antioxidants on lycopene degradation in oil-in-water emulsions. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 113, p. 724 – 729, 2011.
- CORREIA L, F. M.; FARAONI, A. S.; PINHEIRO-SANT’ANA, H. M. Efeitos Do Processamento Industrial De Alimentos Sobre A Estabilidade De Vitaminas **Alim. Nutr.** ISSN 0103-4235, Araraquara v.19, n.1, p. 83-95, jan./mar. 2008.
- COULATE, T. P. **Alimentos: a química de seus componentes**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; CÁRCEL J. A.; GARCIA-PEREZ J. V. Ultrasound-Assisted Air-Drying of Apple (*Malus domestica* L.) and Its Effects on the Vitamin of the Dried Product. **Food Bioprocess Technol**, 2015. DOI 10.1007/s11947-015-1519-7, 2015. publicação on line.
- GONNET, J. F. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisitedd1. A colorimetric definition using the CIELAB scale. **Food Chemistry**, v. 63, n.3, p. 409 e 415, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00053-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00053-3).
- INSEL, P. **Water – Soluble Vitamins**. Em: Nutrition – 4th ed.. Jones and Bartlett Publishers. USA, p. 429 – 466, 2007.
- KLIMCZAK, I. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 20, n. 3-4, p. 313-322, 2007.

KOVACEVIC, D. B.; PUTNIK P.; DRAGOVIC-UZELAC, V.; PEDISIC, S.; JAMBRAK, R.; HERCEG, Z. Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. **Food Chemistry**, v. 190, p.317–323, 2016.

KOVACEVIC, D. B, PUTNIK P.; DRAGOVIC-UZELAC V.; PEDISIC, S.; JAMBRAK, R.; HERCEG Z. Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. **Food Chemistry** 190, 317–323, 2016.

KRINSKY, N. I. Effects of carotenoids in cellular and animal systems. **American Journal of Clinical Nutrition**, Davis, v. 53, p.238S-246S, 1991.

LIU, Z.; LIN, X.; HUANG, G.; ZHANG, W.; RAO, P.; NI, L. Prebiotic effects of almonds and almond skins on intestinal microbiota in healthy adult humans. **Anaerobe**, v. 26, p.1–6.

MENDONÇA, V.; MEDEIROS, L. F. Culturas da aceloreira e do maracujazeiro. Mossoró. Universidade Federal Rural do Semiárido, Departamento de Ciências vegetais (Boletim Técnico 4), 2011.

MISRA, N. N.; PATIL, S.; MOISEEV, T.; BOURKE, P.; MOSNIER, J. P.; KEENER, K. M.; CULLEN, P. J. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.125, p.131–138, 2014.

MOISAN, M.; BARBEAU, J.; MOREAU, S.; PELLETIER, J.; TABRIZIAN M. E.; YAHIA, L. H. Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms, **International Journal of Pharmaceutics**, v. 226, p. 1–21. 2001.

MORENO-VILET, L.; GARCIA-HERNANDEZ, M. H.; DELGADO PORTALES, R. E.; CORRAL-FERNANDEZ, N. E.; CORTEZ-ESPINOSA, N.; RUIZ CABRERA, M. A.; PORTALES-PEREZ, D. P. In vitro assessment of agave fructans (agave salmiana) as prebiotics and immune system activators. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.63, p.181–187, 2014.

PANKAJ, S. K.; BUENO-FERRER, C.; MISRA, N. N.; MILOSAVLJEVIĆ, V.; O'DONNELL, C. P.; BOURKE, P.; CULLEN, P. J. Applications of cold plasma technology in food packaging. **Trends in Food Science e Technology**, v. 35, n. 1, p. 5–17, 2014.

PEREZ, M.; TORRADES, F.; DOMENECH, X.; PERAL, J. Treatment of bleaching kraft mill effluents and polychlorinated phenolic compounds with ozonation. **Journal of Chemical Technology e Biotechnology**, v.77, n.8, p. 891–897, 2002.

PIMENTEL, C. V. M. B.; FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais: introdução as principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Ed. Varela, 2005. 95 p.

RASO, J.; BARBOSA-CANOVAS, G.V. Nonthermal preservation of foods using plasmas and their applications. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy** . V. 57, I 4. p. 609-658. 2003.

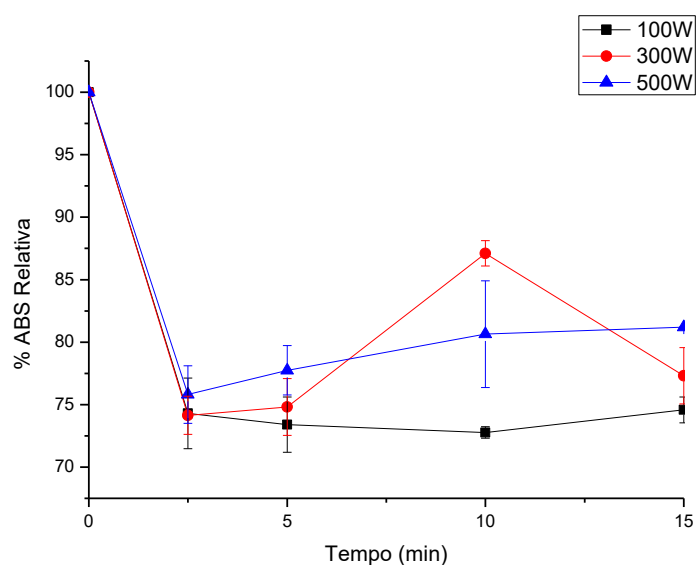
REIN, M. J.; HEINONEN, M. Stability and enhancement of berry juice color. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n.10, 3106 e 3114, 2004. <http://dx.doi.org/10.1021/jf035507i>.

## **6 CONCLUSÃO GERAL**

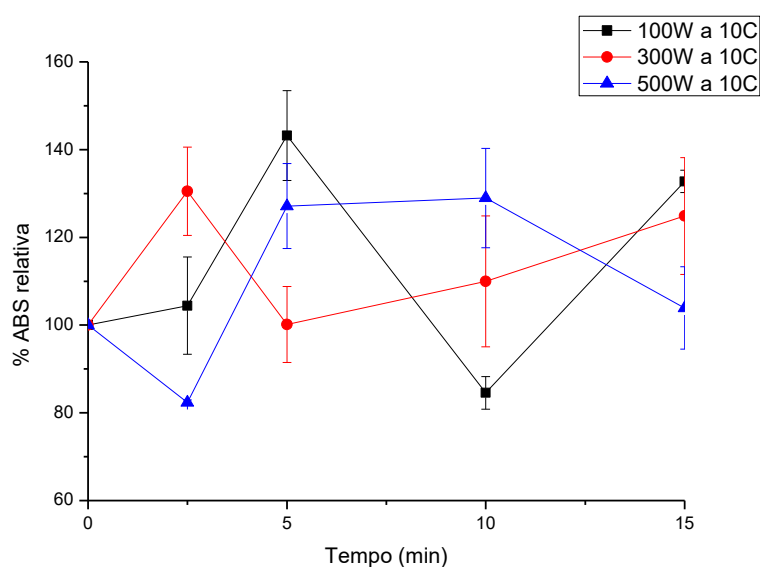
Diante do estudo das duas técnicas de processamento utilizadas, ultrassom e plasma a frio, verificamos que as duas tecnologias apresentam alto potencial na preservação dos nutrientes do suco de acerola e suco de acerola prebiótico. Se pudessemos escolher o processamento melhor representado seria a tecnologia de plasma a frio, principalmente porque a concentração de peróxido de hidrogênio não aumentou durante o processamento. Este parâmetro é muito importante pois previne perdas nutritivas futuras. A maior restrição do uso dessa técnica seria o alto custo que ela ainda possui, fazendo com que apenas alimentos muito nobres possam receber esse tipo de tratamento.

## APÊNDICE 1. DADOS EXPERIMENTAIS RELATIVOS AO SUCO DE ACEROLA SUBMETIDO AO TRATAMENTO ULTRASSÔNICO

Neste apêndice são apresentados os dados experimentais obtidos para o processamento do suco de acerola, que não foram apresentados no corpo principal do texto da tese para evitar repetições no texto devido à similaridade com os dados apresentados.



**Figura A1.1.** Vitaminas B1 e B2 em amostra de suco de acerola a 25°C.

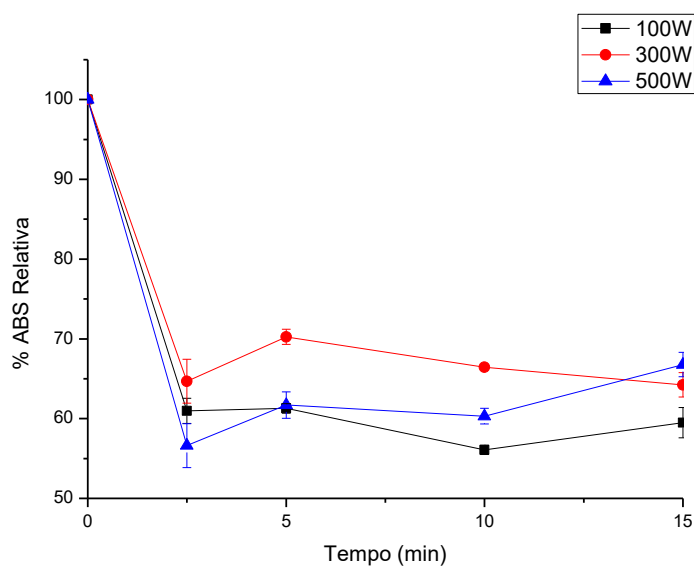


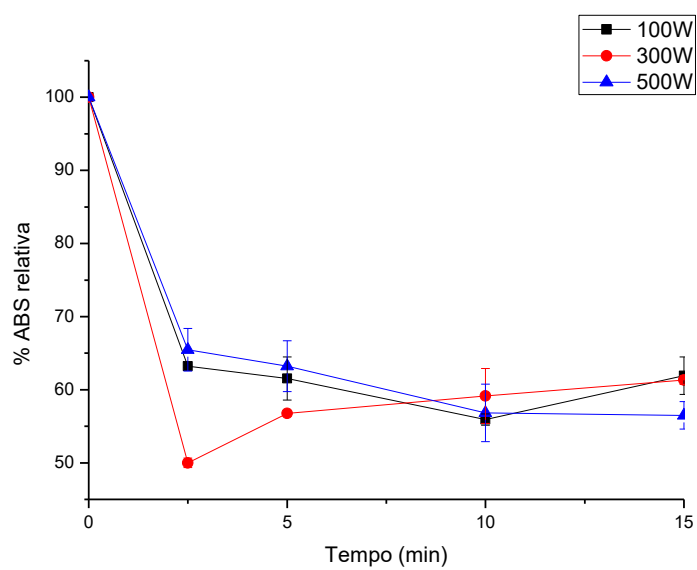
**Figura A1.2.** Vitamina B1 e B2 em suco de acerola com FOS a 10°C



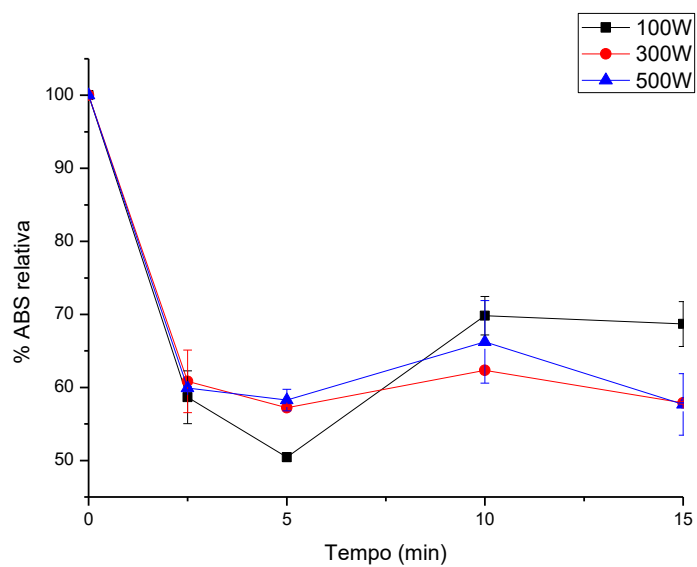
**Tabela A1.1.** Análise de perturbação de variáveis para as vitaminas B1 e B2

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	-8,22	7,33	0,2730
Temperatura (Q)	-14,73	13,34	0,2797
POT (L)	2,89	7,54	0,7050
POT (Q)	-1,60	12,87	0,9033
Tempo (L)	5,07	7,95	0,5288
Tempo (Q)	3,23	14,63	0,8270
Temperatura/POT	7,76	8,89	0,3907
Temperatura/Tempo	1,89	9,38	0,8419
POT/Tempo	13,17	9,77	0,1896

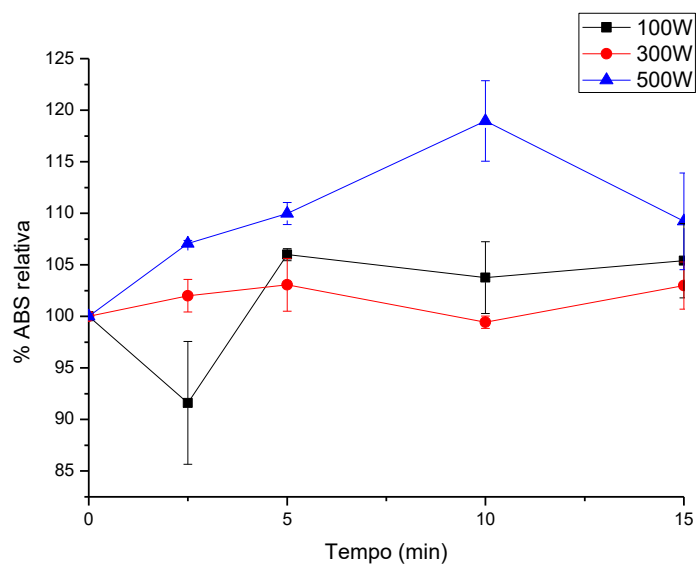
**Figura A1.3.** Vitamina B3 em amostra de suco de acerola a 10°C.



**Figura A1.4.** Vitamina B5 em amostra de suco de acerola a 10°C.



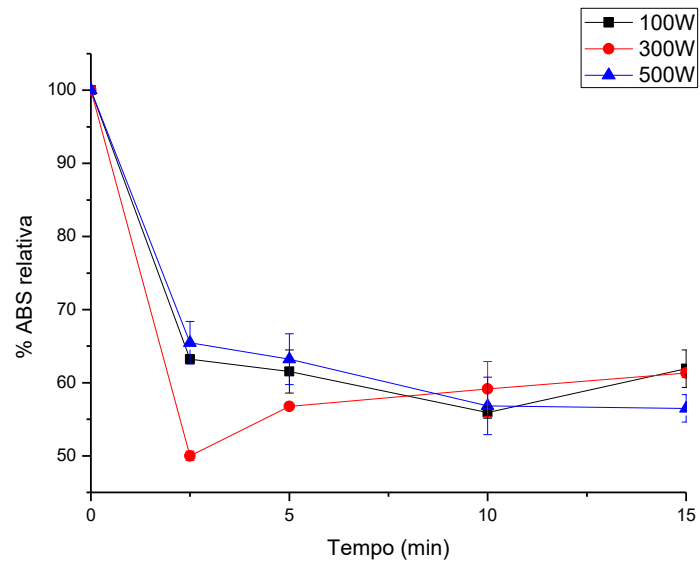
**Figura A1.5.** Vitamina B5 em amostra de suco de acerola a 25°C.



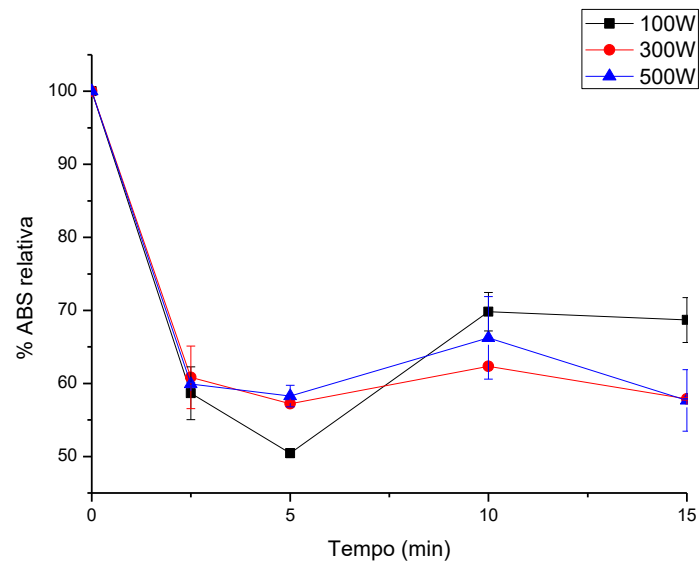
**Figura A1.6.** Vitamina B5 em amostra de suco de acerola a 40°C.

**Tabela A1.2.** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina B5.

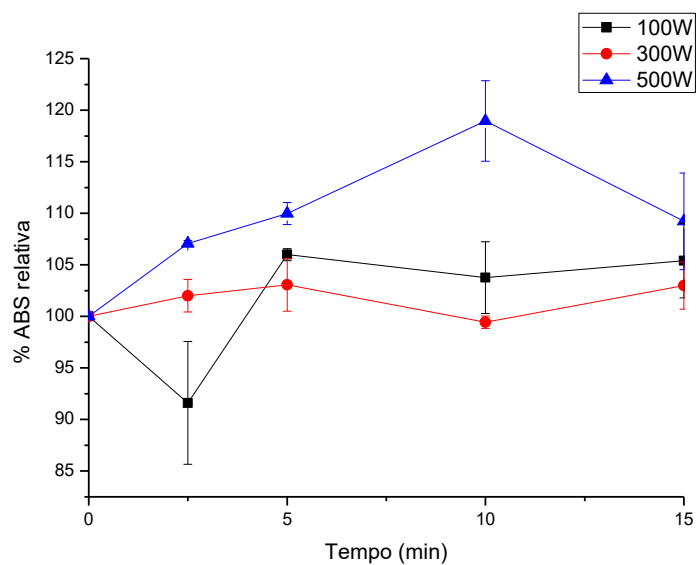
Variáveis	Efeitos	Erro	P
Temperatura (L)	<b>41,07</b>	<b>3,57</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	<b>37,77</b>	<b>6,50</b>	<b>0,0000</b>
POT (L)	7,24	3,67	0,0593
POT (Q)	2,57	6,27	0,6844
Tempo (L)	-1,28	3,87	0,7425
Tempo (Q)	-9,07	7,12	0,2139
Temperatura/POT	<b>10,41</b>	<b>4,33</b>	<b>0,0236</b>
Temperatura/Tempo	-5,00	4,57	0,2833
POT/Tempo	3,11	4,76	0,5187



**Figura A1.7.** Vitamina B5 em amostra de suco de acerola a 10°C.



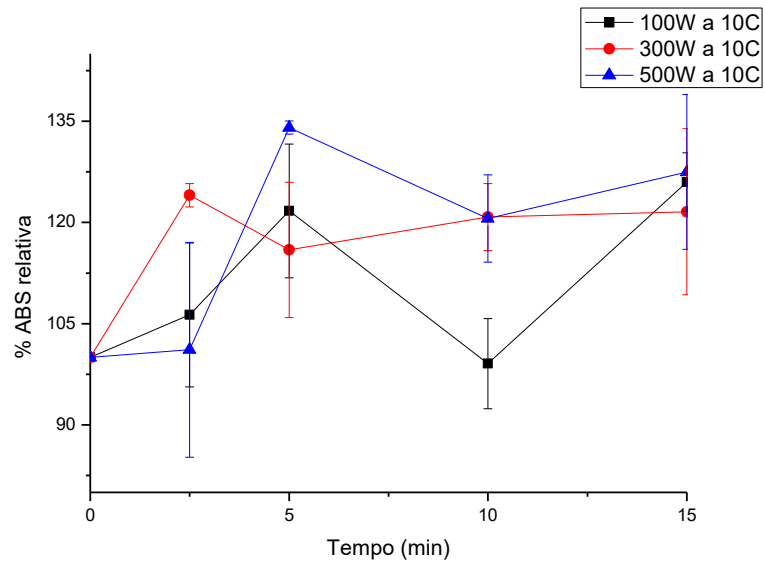
**Figura A1.8.** Vitamina B5 em amostra de suco de acerola a 25°C.



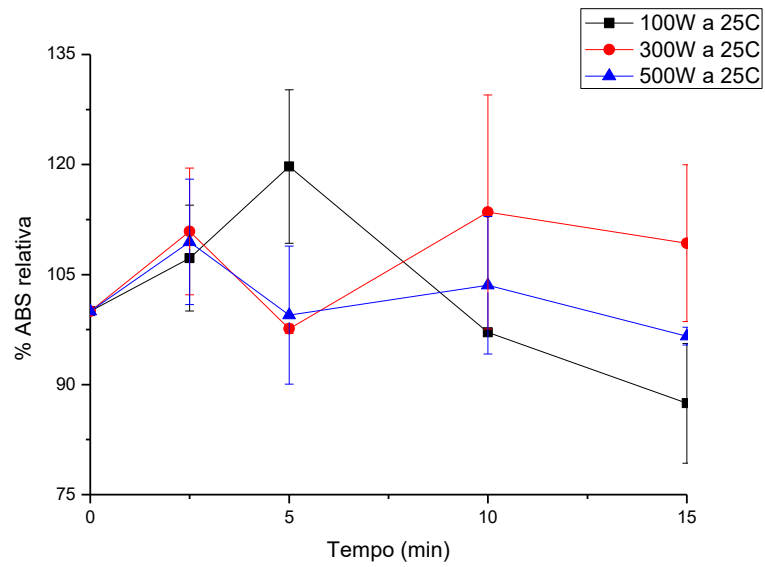
**Figura A1.9.** Vitamina B5 em amostra de suco de acerola a 40°C.

**Tabela A1.3.** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina B5.

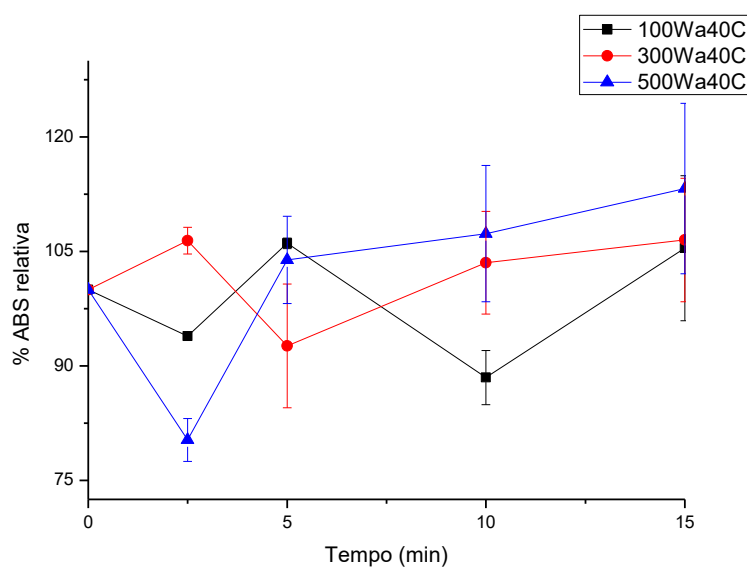
Variáveis	Efeitos	Erro	P
Temperatura (L)	<b>41,07</b>	<b>3,57</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	<b>37,77</b>	<b>6,50</b>	<b>0,0000</b>
POT (L)	7,24	3,67	0,0593
POT (Q)	2,57	6,27	0,6844
Tempo (L)	-1,28	3,87	0,7425
Tempo (Q)	-9,07	7,12	0,2139
Temperatura/POT	<b>10,41</b>	<b>4,33</b>	<b>0,0236</b>
Temperatura/Tempo	-5,00	4,57	0,2833
POT/Tempo	3,11	4,76	0,5187



**Figura A1.10.** Vitamina B5 em suco de acerola com FOS a 10°C



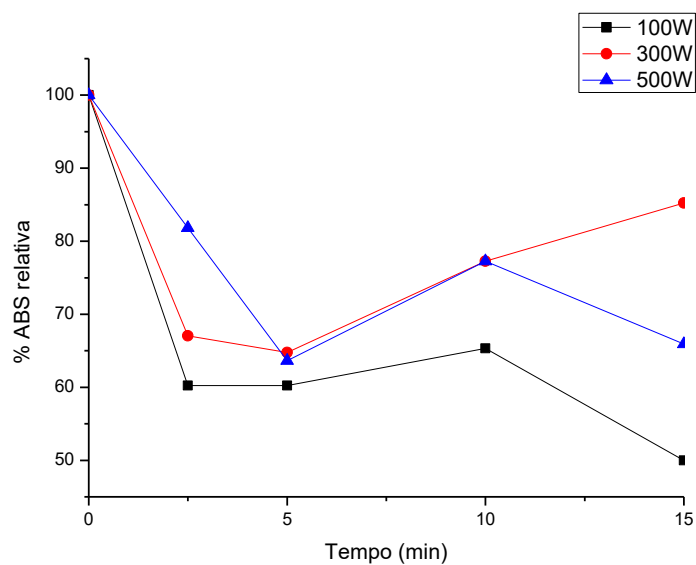
**Figura A1.11.** Vitamina B5 em suco de acerola com FOS a 25°C



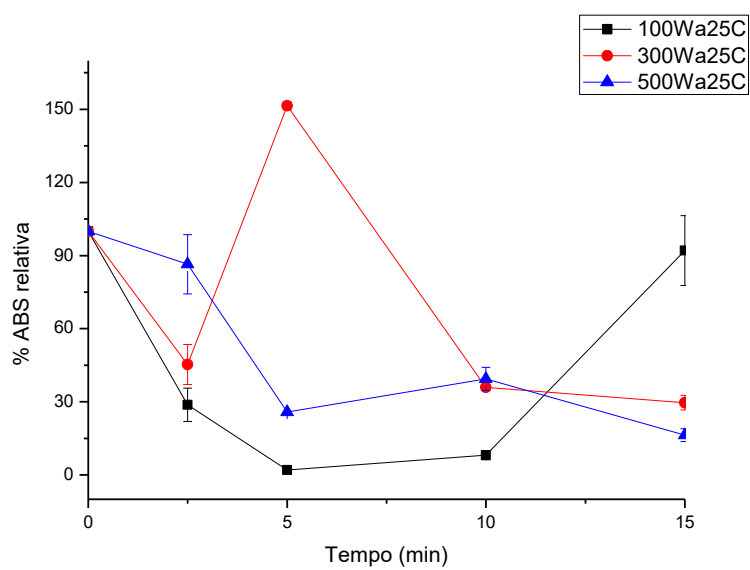
**Figura A1.12.** Vitamina B5 em suco de acerola com FOS a 40°C

**Tabela A1.4.** Análise de perturbação de variáveis para a vitamina B5 em suco de acerola prebiótico

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	<b>-18,65</b>	<b>3,80</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	5,82	6,91	0,4072
POT (L)	6,55	3,91	0,1054
POT (Q)	-6,61	6,67	0,3305
Tempo (L)	4,31	4,12	0,3052
Tempo (Q)	1,12	7,57	0,8832
Temperatura/POT	-1,65	4,61	0,7224
Temperatura/Tempo	-0,12	4,86	0,9806
POT/Tempo	<b>11,71</b>	<b>5,06</b>	<b>0,0290</b>

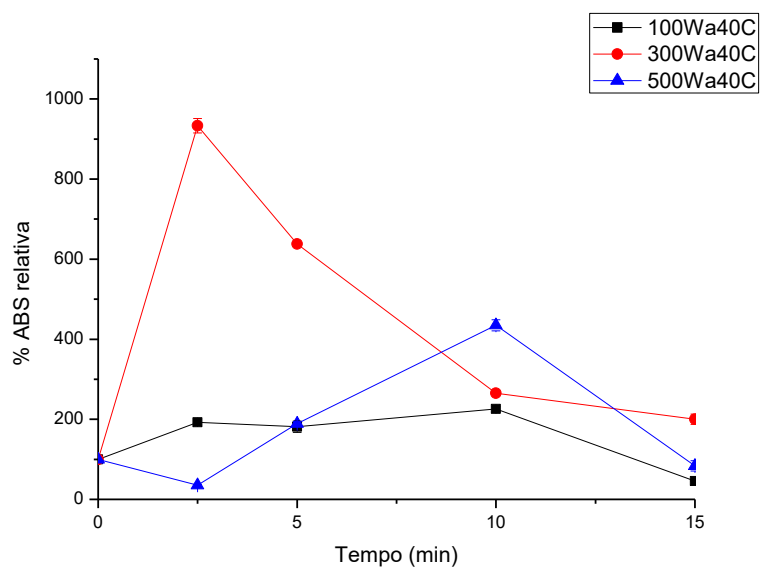


**Figura A1.13.** Vitamina A em amostra de suco de acerola sonificado a 40°C

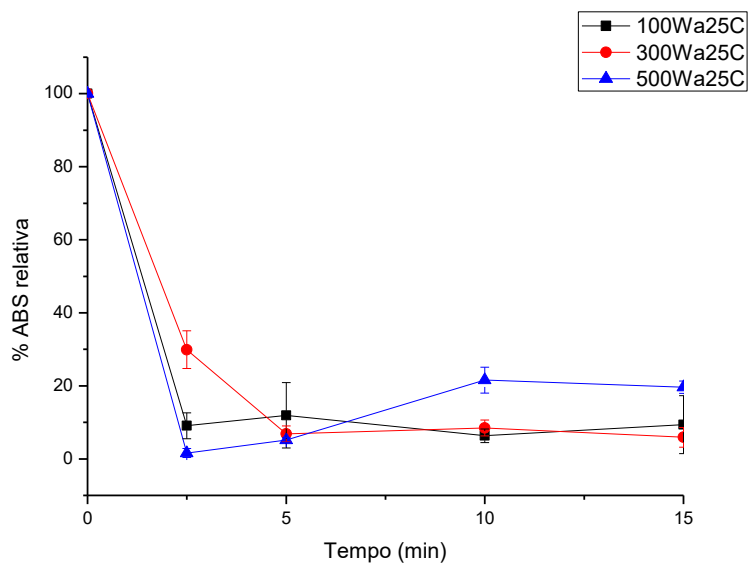


**Figura A1.14.** Vitamina A em suco de acerola com FOS a 25°C

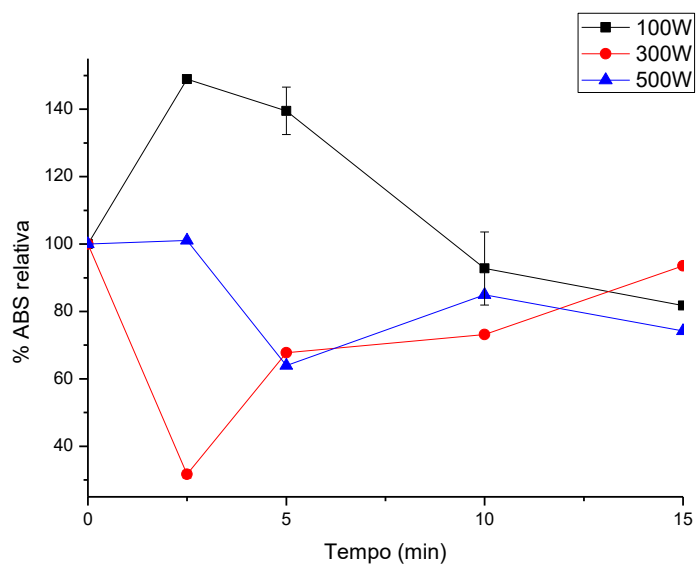




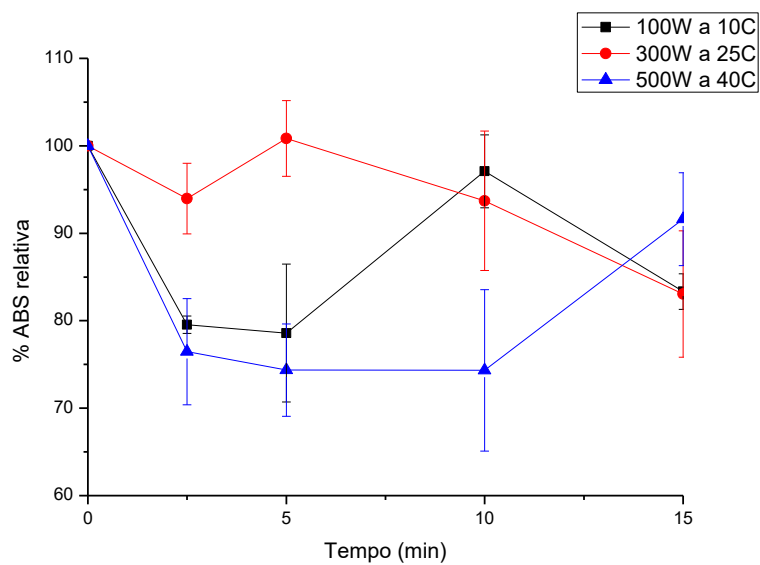
**Figura A1.15.** Vitamina A em suco de acerola com FOS a 40°C



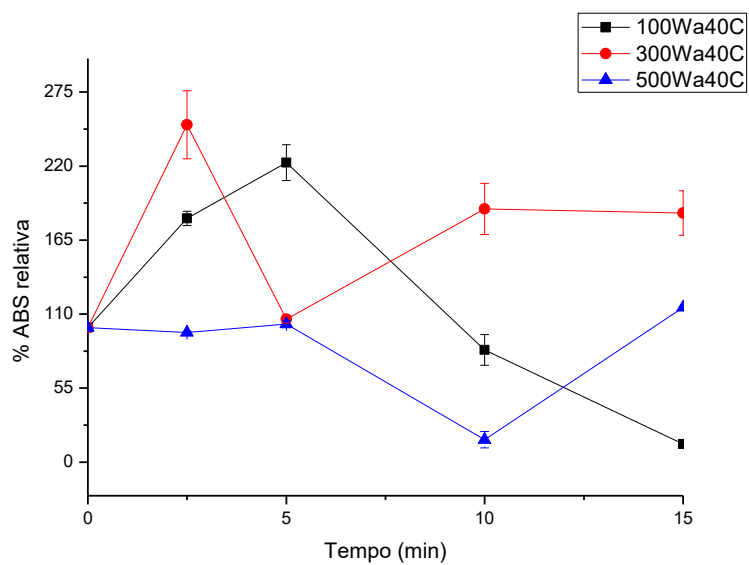
**Figura A1.16.** Pró vitamina D em suco de acerola sonificado a 25°C.



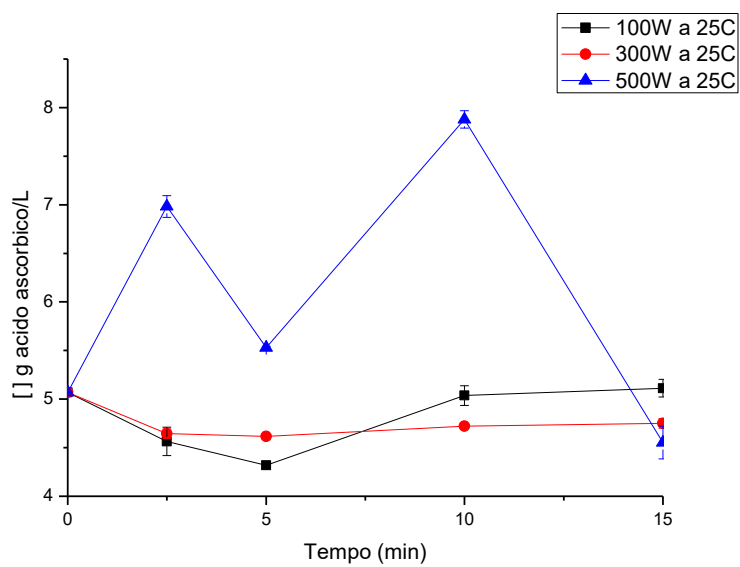
**Figura A1.17.** Vitamina E em suco de acerola sonificado a 25°C



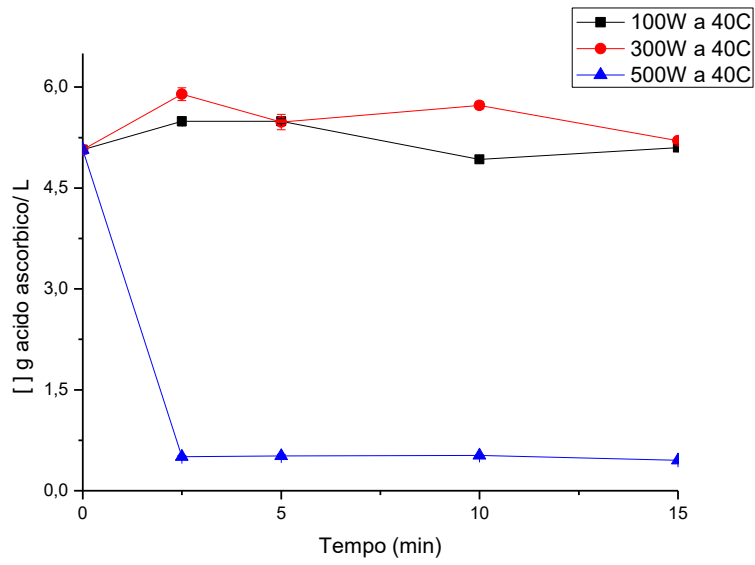
**Figura A1.18.** Carotenoides totais em suco de acerola sonificado a 25°C.



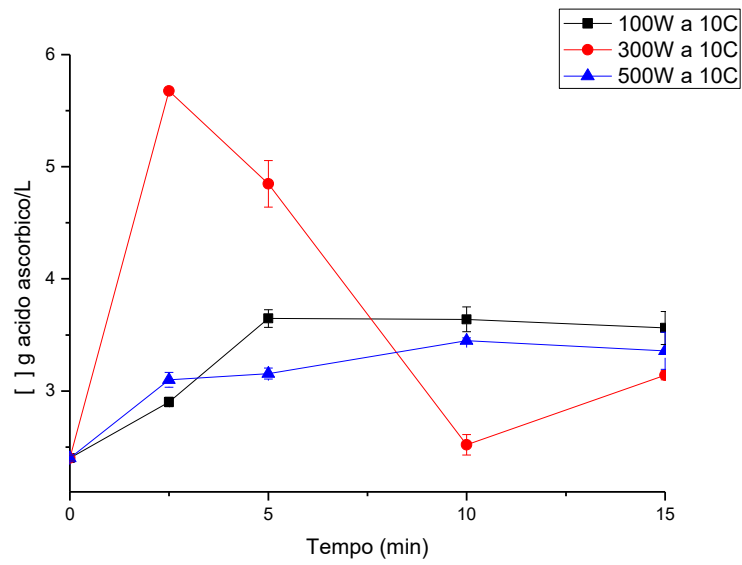
**Figura A1.19.** Vitamina E em suco de acerola com FOS a 40°C



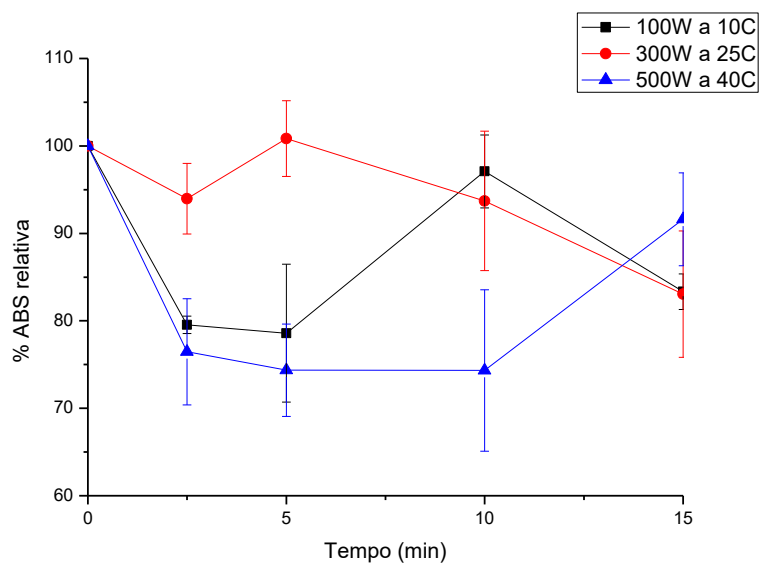
**Figura A1.20.** Vitamina C em suco de acerola sonificado a 25°C



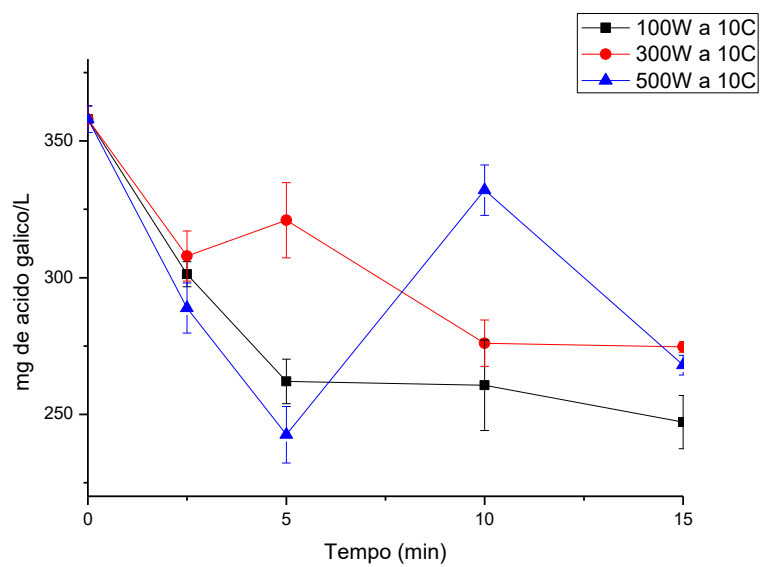
**Figura A1.21.** Vitamina C em suco de acerola sonificado a 40°C



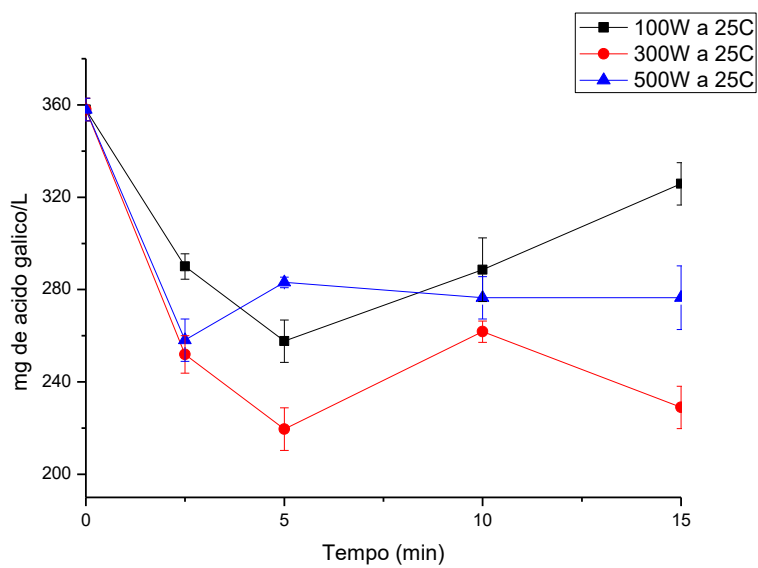
**Figura A1.22.** Vitamina C em suco de acerola prebiótico a 10°C



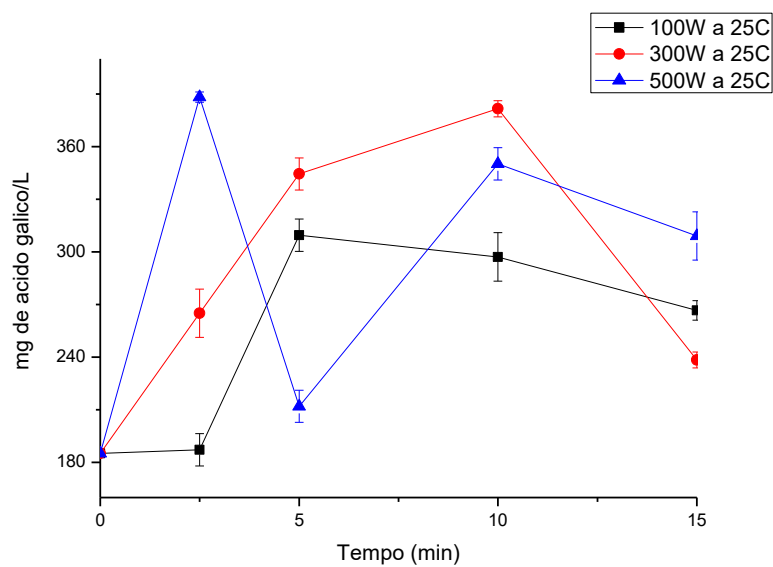
**Figura A1.23.** Carotenoides totais em suco de acerola sonificado a 25°C.



**Figura A1.24.** Concentração de compostos fenólicos no suco de acerola a 10°C



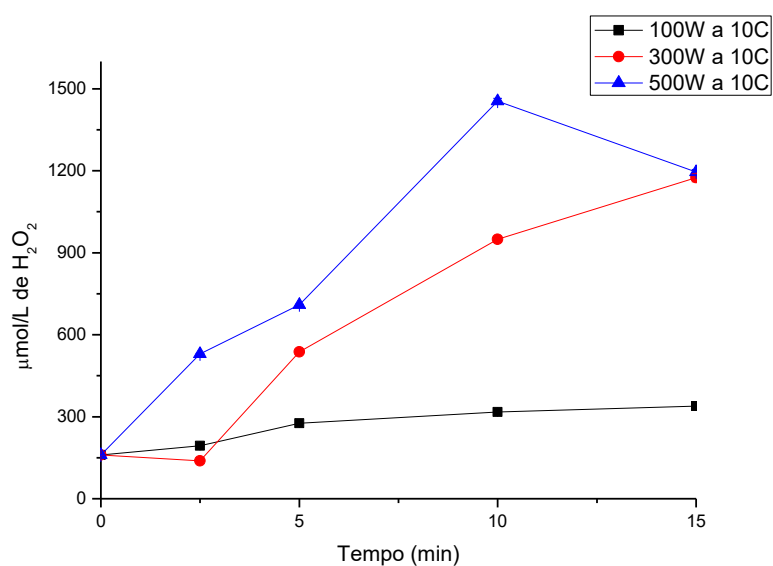
**Figura A1.25.** Concentração de compostos fenólicos no suco de acerola sonificado a 25°C

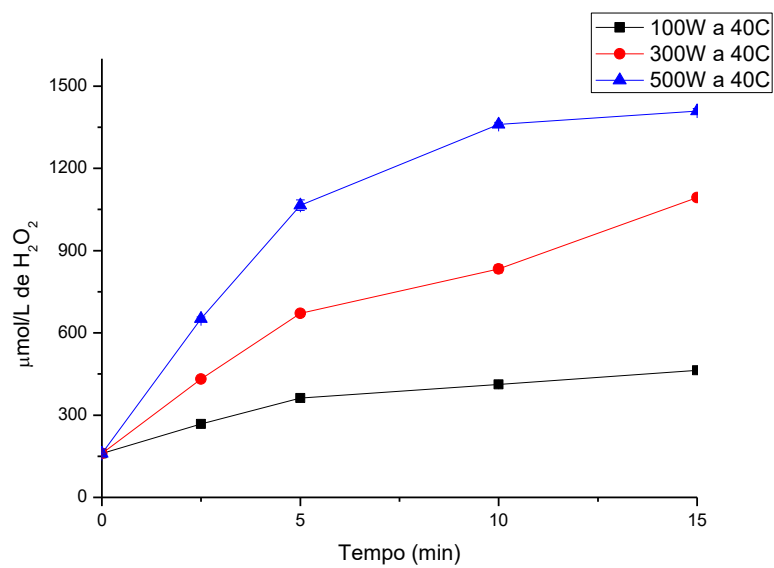


**Figura A1.26.** Concentração de compostos fenólicos no suco de acerola com FOS a 25°C

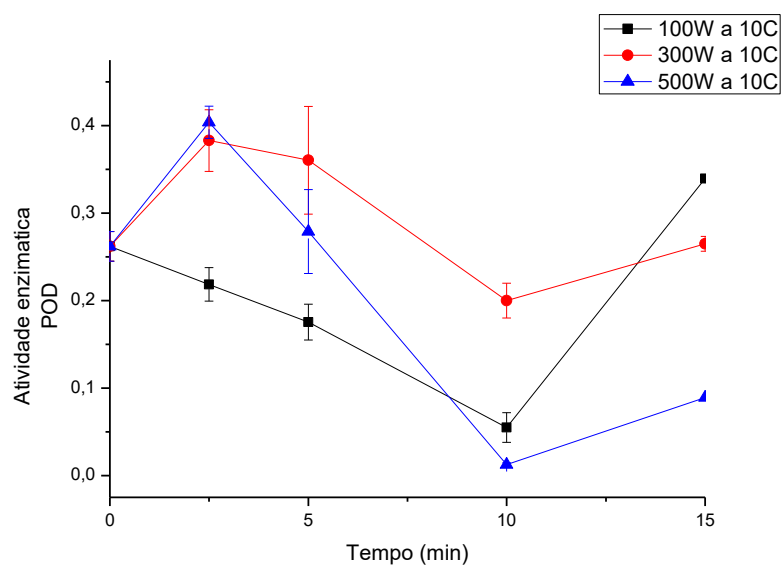
**Tabela A1.5.** Análise de perturbação de variáveis para a concentração de compostos fenólicos.

Variáveis	Efeito	Erro	P
Temperatura (L)	-13,56	12,44	0,2861
Temperatura (Q)	12,27	22,64	0,5922
POT (L)	-0,01	12,80	0,9988
POT (Q)	7,21	21,84	0,7439
Tempo (L)	-1,35	13,49	0,9207
Tempo (Q)	3,13	24,81	0,9005
Temperatura/POT	-8,48	15,09	0,5789
Temperatura/Tempo	15,26	15,92	0,3465
POT/Tempo	12,99	16,59	0,4405

**Figura A1.27.** Concentração de peróxido de hidrogênio no suco de acerola a 10°C

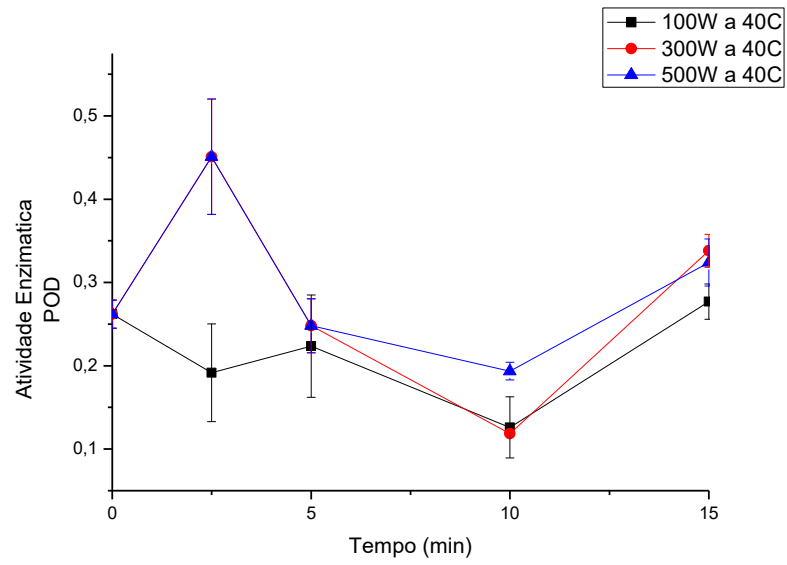


**Figura A1.28.** Concentração de peróxido de hidrogênio no suco de acerola a 40°C

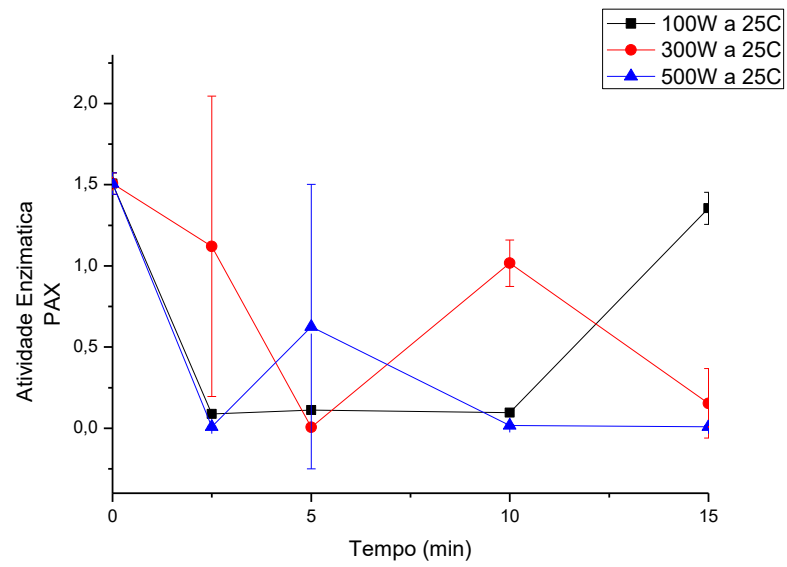


**Figura A1.29.** Atividade Enzimática da POD em suco de acerola a 10°C

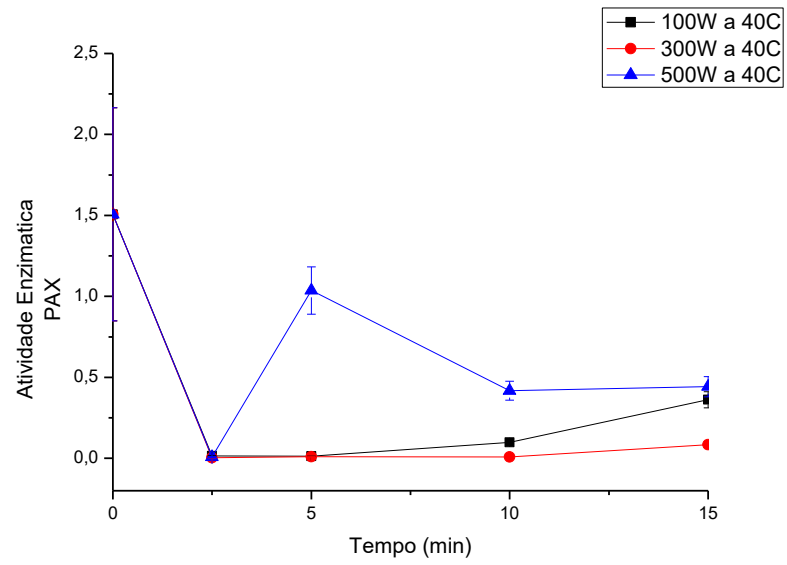




**Figura A1.30.** Atividade Enzimática da POD em suco de acerola a 40°C



**Figura A1.31.** Atividade Enzimática da PAX em suco de acerola a 25°C.



**Figura A1.32.** Atividade Enzimática da PAX em suco de acerola a 40°C.

## APÊNDICE 2. DADOS EXPERIMENTAIS RELATIVOS AO SUCO DE ACEROLA SUBMETIDO AO TRATAMENTO COM PLASMA A FRIO.

Neste apêndice são apresentados os dados experimentais obtidos para o processamento do suco de acerola, que não foram apresentados no corpo principal do texto da tese para evitar repetições no texto devido à similaridade com os dados apresentados.

**Tabela A2.1.** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Vitamina A

Variáveis	Efeito	Erro	P
tempo (L)	60,28	105,97	0,6141
tempo (Q)	-35,63	183,55	0,8623
Fluxo (L)	76,71	105,97	0,5203
Fluxo (Q)	111,22	183,55	0,5904
tempo x Fluxo	64,08	129,79	0,6523

**Tabela A2.2.** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Carotenoides totais

Variáveis	Efeito	Erro	P
tempo (L)	-46,19	63,28	0,5233
tempo (Q)	-82,31	109,61	0,5141
Fluxo (L)	6,37	63,28	0,9305
Fluxo (Q)	-3,54	109,61	0,9801
tempo x Fluxo	-74,09	77,50	0,4106

**Tabela A2.3.** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de  $\beta$ - caroteno

Variáveis	Efeito	Erro	P
tempo (L)	-10,03	65,99	0,8920
tempo (Q)	-52,20	114,28	0,6841
Fluxo (L)	32,75	65,99	0,6525
Fluxo (Q)	78,71	114,28	0,5436
tempo x Fluxo	-16,97	80,80	0,8522

**Tabela A2.4.** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Licopeno

Variáveis	Efeito	Erro	P
tempo (L)	12,39	13,15	0,0000
tempo (Q)	-38,25	22,77	0,4102
Fluxo (L)	2,06	13,15	0,1911
Fluxo (Q)	6,50	22,77	0,8841
tempo x Fluxo	-2,18	16,10	0,9026

**Tabela A2.5.** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Vitamina C

Variáveis	Efeito	Erro	P
tempo (L)	-0,31	0,12	0,6702
tempo (Q)	0,09	0,21	0,0800
Fluxo (L)	0,24	0,12	0,1331
Fluxo (Q)	<b>1,40</b>	<b>0,21</b>	<b>0,0070</b>
tempo x Fluxo	-0,39	0,15	0,0811

**Tabela A2.6.** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Compostos Fenólicos

Variáveis	Efeito	Erro	P
tempo (L)	-90,88	107,94	0,4723
tempo (Q)	-61,39	186,97	0,7631
Fluxo (L)	55,42	107,95	0,6411
Fluxo (Q)	113,81	186,97	0,5908
tempo x Fluxo	53,99	132,21	0,7117

**Tabela A2.7.** Análise de perturbação de variáveis para a Concentração de Peróxido de Hidrogênio.

Variáveis	Efeito	Erro	P
tempo (L)	-9,94	23,27	0,7012
tempo (Q)	-26,11	40,30	0,5621
Fluxo (L)	36,99	23,27	0,2100
Fluxo (Q)	-107,23	40,30	0,0841
tempo x Fluxo	46,62	28,50	0,2021