

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

VANESSA CIPRIANI GIULIANGELI

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O AQUECIMENTO ÔHMICO E
CONVENCIONAL APLICADO EM POLPA DE GOIABA VERMELHA**

LONDRINA

2021

VANESSA CIPRIANI GIULIANGELI

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O AQUECIMENTO ÔHMICO E
CONVENCIONAL APLICADO EM POLPA DE GOIABA VERMELHA**

**COMPARATIVE STUDY BETWEEN OHMIC AND CONVENTIONAL
TREATMENT APPLIED TO RED GUAVA PULP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Orientador(a): Profa. Dra. Marianne Ayumi Shirai

Coorientador: Prof. Dr. Gylles Ricardo Ströher

LONDRINA

2021



[4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuem o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Londrina**



VANESSA CIPRIANI GIULIANGELI

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O AQUECIMENTO ÔHMICO E CONVENCIONAL APLICADO EM POLPA DE GOIABA VERMELHA

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Tecnologia De Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologia De Alimentos.

Data de aprovação: 06 de Abril de 2021

Prof.a Marianne Ayumi Shirai, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Evandro Bona, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Flavio Thihara Rodrigues, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (Ifsp)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 06/04/2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por conceder força para buscar conhecimento e por me proporcionar pessoas maravilhosas durante esta fase da minha vida.

Agradeço a minha orientadora professora Dra. Marianne Ayumi Shirai por compartilhar conhecimentos e saberes, não medindo esforços e sempre me auxiliando para pudesse alcançar meus objetivos.

Agradeço ao meu coorientador por sempre me apoiar, incentivar e mostrar novos horizontes, pela sua compreensão, ensinamentos, sempre me auxiliando nas dificuldades que surgiram durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à minha família: Mãe, Pai, Vó Francisca e Irmão por sempre me apoiar e ficar ao meu lado nas horas mais felizes e também nas mais difíceis da minha vida.

Agradeço aos meus padrinhos tia Fátima, tio Sadi e a minha prima Greice por serem pessoas incentivadoras, sempre tiveram palavras positivas, acreditaram e me fizeram acreditar que tudo daria certo.

Por fim, agradeço ao corpo docente da UTFPR Londrina do Mestrado de Tecnologia de Alimentos por compartilhar e construir conhecimentos, sempre provocando a uma reflexão crítica.

“A percepção do desconhecido
é a mais fascinante das
experiências. O homem que não
tem os olhos abertos para o
misterioso passará pela vida sem
ver nada.”

Albert Einstein

RESUMO

GIULIANGELI, Vanessa Cipriani. **Estudo comparativo entre tratamento ôhmico e convencional aplicado em polpa de goiaba vermelha.** 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

O aquecimento ôhmico é uma tecnologia emergente que vem sendo estudada para aplicação no tratamento térmico de alimentos. O principal benefício associado ao processo reside na possibilidade de aquecer materiais de forma rápida e uniforme, incluindo produtos particulados como polpas de frutas. Este trabalho teve como objetivo aplicar o tratamento térmico convencional e ôhmico em polpa de goiaba vermelha, visando estudar a influência sobre o teor de ácido ascórbico, carotenoides e cor. Adicionalmente, avaliou-se a eficiência térmica e calculou-se o valor de pasteurização (P) de ambos os tratamentos. A polpa de goiaba foi inicialmente caracterizada quanto ao pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, cor, teor de ácido ascórbico e carotenoides. Os tratamentos térmicos convencional e ôhmico foram realizados nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C por 110 minutos. Durante o processo, amostras de polpa foram coletadas para determinação da concentração de ácido ascórbico, carotenoides e medida de cor. Os dados de concentração de ácido ascórbico foram ajustados em modelos cinéticos (zero, primeira, segunda ordem e Weibull) e com os dados cinéticos determinou-se os parâmetros termodinâmicos (energia de ativação, variação de entalpia, entropia e energia Gibbs). Quanto ao processo de transferência de calor, o tratamento ôhmico apresentou eficiência térmica média de 40,93 %, enquanto o convencional foi de 2,62 %. Entre os modelos cinéticos testados e de acordo com os parâmetros estatísticos utilizados, o modelo de primeira ordem apresentou o melhor ajuste ao decaimento do ácido ascórbico. A velocidade de degradação do ácido ascórbico foi proporcional a temperatura do tratamento térmico, sendo uma ordem de grandeza superior para o aquecimento ôhmico em relação ao tratamento convencional. Isso pode ter ocorrido em razão do baixo pH da polpa (3,98) e uso de baixa frequência do campo elétrico. Comparativamente, no tratamento a 60 °C houve maior retenção de carotenoides que pode ser devido à menor temperatura e rompimento da matriz celular e liberação para o meio. Com relação à cor da polpa, verificou-se que não houve alteração significativa para os dois tratamentos. O valor de pasteurização, P, foi atingido de modo mais rápido com aquecimento ôhmico e quanto maior P, maior foi a degradação do ácido ascórbico. No entanto, para os parâmetros de cor avaliados não houve alterações significativas. Assim, os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram que o aquecimento ôhmico pode ser visto como uma potencial tecnologia para o tratamento térmico de polpa da goiaba com relação a retenção de carotenoides, cor, economia energética e uma interessante operação unitária de pasteurização, ou aquecimento, uma vez que a conversão de energia é mais eficiente e ecologicamente correta. Além disso, contribui para a redução do consumo de combustível e emissões relacionadas à combustão, além de consumir menor quantidade de água para o atendimento dos padrões sanitários de higienização, visto que nesta forma de tratamento térmico incide menor superfície de contato para ocorrência de incrustações e em termos energéticos provê uma alta economia de energia com relação ao aquecimento

convencional.

Palavras-chave: Tratamento Térmico. Fruta Tropical. Vitamina C. Carotenoides.

ABSTRACT

GIULIANGELI, Vanessa Cipriani. **Comparative study between ohmic and conventional treatment applied to red guava pulp**. 2021. 92 p. Dissertation (Master in Food Technology) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

Ohmic treatment is an emerging technology that has been studied for application in food heat treatment. The main benefit associated with the process is the possibility of heating materials quickly and evenly, including particulate products such as fruit pulps. This work aimed to apply conventional and ohmic heat treatment to red guava pulp, aiming to study the influence on the content of ascorbic acid, carotenoids, and color variation. Additionally, the thermal efficiency and the pasteurization value (P) of both treatments were calculated. The guava pulp was initially characterized in terms of pH, total soluble solids, total titratable acidity, color, ascorbic acid, and carotenoid content. Conventional and ohmic heat treatment were carried out at temperatures of 60, 70 and 80 °C for 110 minutes. During the process, pulp samples were collected to determine the concentration of ascorbic acid and carotenoids and measurement of the color. The ascorbic acid concentration data were adjusted in kinetic models (zero, first, second-order and Weibull) and with the kinetic data the thermodynamic parameters (activation energy, enthalpy variation, entropy and Gibbs energy) were determined. According to the heat transfer process, the ohmic treatment showed a thermal efficiency of 40.93 %, while the conventional one was 2.62 %. Among the kinetic models tested and according to the statistic parameters used, the first order model showed the best fit to the decay of ascorbic acid. The degradation rate of ascorbic acid was proportional to the temperature of the heat treatment, being an order of magnitude higher for the ohmic heating compared to the conventional treatment. The degradation of ascorbic acid occurred in greater proportion with the ohmic treatment and may have occurred due to the low pH of the pulp (3.98) and the use of the low frequency of the electric field. Comparatively, in the thermal treatment at 60 °C there was a greater retention of carotenoids which may be due to the lower temperature and disruption of the cellular matrix and release into the medium. Regarding the guava pulp color, it was found that there was no significant change for both treatments. P was reached faster with ohmic heating and the higher P, the greater the degradation of ascorbic acid. Thus, the results obtained in the present work demonstrated that the ohmic heating can be seen as a potential technology for the thermal treatment of the guava pulp regarding the retention of carotenoids, color, energy saving and interesting for the unit operation of pasteurization, or heating, since the energy conversion is more efficient, ecologically correct, as it contributes to the reduction of fuel consumption and emissions related to combustion, in addition to consuming less water to meet sanitary hygiene standards, because in this form of thermal treatment involves a smaller contact surface for the occurrence of fouling and in terms of energy it provides a high energy saving compared to conventional heating.

Keywords: Heat treatment. Tropical fruit. Vitamin C. Carotenoids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Goiabeira do cultivar Pedro Sato	18
Figura 2 – Goiaba do cultivar Pedro Sato	19
Figura 3 - Estrutura do ácido l- ascórbico.....	22
Figura 4 - Mecanismo de degradação aeróbico do ácido ascórbico	23
Figura 5 - Estrutura química dos principais carotenoides.....	27
Figura 6 - Estrutura trans-b-caroteno e 9-cis-b-caroteno, representando as formas trans- e cis- de um carotenóide.....	27
Figura 7 - Esquema do mecanismo de degradação de carotenoides	28
Figura 8 - Esquema geral de um aquecedor ôhmico.....	31
Figura 9 – Despoldadeira de fruta	40
Figura 10 - Principais elementos que compõem a célula de aquecimento ôhmico ...	42
Figura 11 - Principais elementos que compõem a célula de aquecimento convencional	43
Figura 12 - Perfil de aquecimento da polpa de goiaba para o tratamento convencional (a) e ôhmico (b).....	51
Figura 13 - Comparação de gasto de energia elétrica entre o aquecimento ôhmico e convencional na temperatura de 60 °c.....	53
Figura 14 - Degradação do ácido ascórbico em polpa de goiaba sob tratamento ôhmico (a) e convencional (b).....	54
Figura 15 - Cinética de degradação de ácido ascórbico sobre aquecimento ôhmico (a, c, e) por 110 minutos e cinética de degradação de ácido ascórbico sobre aquecimento convencional (b, d, f) por 110 minutos.....	61
Figura 16 – Parâmetro de cor L* em polpa de goiaba sob tratamento ôhmico (a) e convencional (b).....	67
Figura 17 - Parâmetro de cor a* em polpa de goiaba sob tratamento ôhmico (a) e convencional (b).....	68
Figura 18 – Parâmetro de cor b* em polpa de goiaba sob tratamento ôhmico (a) e convencional (b).....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição físico-química de goiaba vermelha (em 100 g de produto)..	20
Tabela 2 - Características físicas e químicas da polpa de goiaba.....	49
Tabela 3- Cinética de degradação do ácido ascórbico de ordem zero.....	58
Tabela 4 - Cinética de degradação do ácido ascórbico de primeira ordem.....	58
Tabela 5 - Cinética de degradação do ácido ascórbico de segunda ordem.....	59
Tabela 6 - Cinética de degradação do ácido ascórbico de Weibull.....	
Tabela 7 - Parâmetros do modelo de primeira ordem para degradação de ácido ascórbico na polpa de goiaba durante o tratamento térmico ôhmico e convencional.....	63
Tabela 8 - Parâmetros da equação de Arrhenius obtidos para a degradação de ácido ascórbico para o aquecimento ôhmico e convencional.....	64
Tabela 9- Retenção de carotenoides em polpa de goiaba submetida ao tratamento ôhmico e convencional.....	65
Tabela 10- Parâmetros de cor de polpa de goiaba submetida ao tratamento térmico convencional e ôhmico.....	69
Tabela 11- Tempo necessário para atingir o valor de pasteurização.....	71
Tabela 12- Influência do índice de pasteurização sobre a redução do ácido ascórbico.....	72
Tabela 13- Influência da temperatura de pasteurização sobre os parâmetros de cor L* a* b*.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>A</i>	área dos eletrodos ou da seção transversal da amostra (m ²)
<i>AA</i>	ácido ascórbico
<i>A</i> _{1cm} ^{1%}	coeficiente de absorvidade molar
<i>C</i>	concentração (mg/ 100g)
<i>C</i> ₀	concentração inicial (mg/ 100g)
<i>CAR</i>	carotenóides
<i>CV</i>	aquecimento convencional
<i>D</i>	tempo de redução decimal
<i>DCG</i>	ácido 2,3- dicetogulônico
<i>DHA</i>	ácido dehidroascórbico
<i>E</i> _a	energia de ativação (J mol ⁻¹)
<i>FQ</i>	frequência elétrica (Hz)
<i>I</i>	intensidade da corrente elétrica através da amostra (A)
<i>k</i>	constante de velocidade (min ⁻¹)
<i>L</i>	espaço entre os eletrodos ou comprimento da amostra (m)
<i>m</i>	massa (g ou Kg) ou constante de proporcionalidade (°C ⁻¹)
<i>n</i>	números de observações
<i>OH</i>	aquecimento ôhmico
<i>p</i>	número de parâmetros
<i>Q</i>	taxa de calor ou energia gerado (W)
<i>R</i>	resistência elétrica (Ω)
<i>T</i>	temperatura (°C)
<i>t</i>	tempo (s)
<i>t</i> _½	tempo de meia vida (min)
<i>T</i> ₀	temperatura inicial do aquecimento
<i>TTS</i>	teor de sólidos totais (g/ 100g)
<i>V</i>	volume final da solução
<i>VT</i>	voltage (V)
<i>x</i> ₁ , <i>x</i> ₂ , <i>x</i> ₃	variáveis independentes
<i>y</i> _{<i>i</i>}	variável de resposta
<i>γ</i>	constante de proporcionalidade (°C ⁻¹)
<i>ΔG</i>	variação de energia livre de Gibbs (kJ mol ⁻¹)

ΔH variação de entalpia (kJ mol^{-1})

ΔS variação de entropia (J mol^{-1})

Símbolos gregos

χ^2 chi quadrado

ρ massa específica (Kg m^{-3})

κ condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{°C}^{-1}$)

α fator de forma

σ condutividade elétrica do produto a ser aquecido (S m^{-1})

σ_0 condutividade elétrica inicial (S m^{-1})

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVO.....	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 GOIABA.....	18
3.2 ÁCIDO ASCÓRBICO.....	21
3.2.1 Degradação do Ácido Ascórbico.....	23
3.4 AQUECIMENTO ÔHMICO	30
3.4.1 Fatores críticos do tratamento ôhmico	33
3.4.2 Tratamento ôhmico aplicado em frutas.....	35
3.5 AQUECIMENTO CONVENCIONAL	37
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1 PROCESSAMENTO DA POLPA DE GOIABA	39
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE GOIABA	40
4.2.1 Teor de sólidos solúveis totais	40
4.2.2 pH	41
4.2.3 Acidez total titulável	41
4.3 CONSTRUÇÃO DA CÉLULA ÔHMICA.....	41
4.4 AQUECIMENTO CONVENCIONAL	42
4.5 DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO ÁSCORBICO.....	43
4.6 DETERMINAÇÃO DOS CAROTENOIDES	44
4.7 MEDIDA DE COR.....	45
4.8 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS	45
4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE GOIABA.....	49
5.2 DINÂMICA DE AQUECIMENTO DA POLPA FRENTE AOS TRATAMENTOS TÉRMICOS.....	51
5.3 DEGRADAÇÃO DO ÁCIDO ASCÓRBICO	54
5.4 CAROTENOIDES.....	65
5.5 COR	66

5.6 AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE AQUECIMENTO FRENTE AO VALOR DE PASTEURIZAÇÃO.....	70
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICE A.....	90

1 INTRODUÇÃO

A goiaba é uma fruta de clima tropical que pertence à família das Myrtaceae e possui um alto valor nutritivo, sendo fonte de vitamina C, licopeno, potássio, sódio, magnésio, ferro, cálcio, cobre e fibras (ALI; AHMED; BABIKIR, 2014; GORINSTEIN et al. 1999; PADULA; RODRIGUEZ-AMAYA, 1986; QUEIROZ, 2004; KUMARI et al. 2020). Suas sementes também se destacam pela concentração de ácidos graxos poli-insaturados como o ômega 3 e 6. A goiaba contém ainda pigmentos antioxidantes, como os carotenoides e polifenóis, sendo uma importante fonte de antioxidantes entre os alimentos de origem vegetal (SEVDA et al. 2012; CHIVEU et al. 2019).

A goiaba tem boa aceitação para consumo *in natura*, a fruta é ainda adequada à aplicação industrial por possuir grande percentual de polpa. Além disso, a goiaba é um fruto climatérico com maturação rápida, apresenta altas taxas de transpiração, perda de massa e firmeza, resultando em uma vida útil curta. A perda de massa, dependendo do cultivar, pode alcançar até 35%, principalmente em países de clima quente (LAZAN; ALI, 1993; BARRET; GONZALEZ, 1994; DURIGAN, 1997).

Uma alternativa viável para reduzir a perda e agregar valor ao produto é a elaboração de polpa, sucos e doces. A capacidade das frutas processadas promoverem saúde depende de seu histórico durante o processamento, que pode comprometer o produto e a disponibilidade dos nutrientes bioativos (ASHA; PAWAN; ANNU, 2013; NICOLI et al. 1999; BENASSI; ANTUNES, 2002; REDY; LOVE, 1999).

O tratamento térmico é o método de preservação mais tradicional utilizado na indústria de alimentos, pois são efetivos na inativação e destruição de enzimas indesejáveis e micro-organismos patogênicos, sendo também importante no desenvolvimento de propriedades sensoriais dos alimentos. Os processos convencionais de tratamento térmico dependem de mecanismos de transferência de calor (condução e convecção) para produtos alimentícios, sendo geralmente limitados devido às propriedades termofísicas dos alimentos, viscosidade e incrustação na superfície de contato com o calor. Com isso, o tempo de exposição do alimento ao calor acaba sendo longo, comprometendo suas características nutricionais e sensoriais (FADAVI et al. 2018; TUMPANUVATR; JITTANIT, 2012).

Neste sentido, uma tecnologia que vem sendo estudada é o tratamento térmico pelo método de aquecimento ôhmico que consiste em um processo de passar uma corrente elétrica alternada através do alimento, gerando um calor intermitente no produto e promovendo o aquecimento mais rápido e homogêneo (CAPPATO et al. 2017; FELLOWS, 2006). O tratamento ôhmico tem como principal vantagem a rapidez e a uniformidade durante o processamento térmico, reduzindo as perdas em níveis estruturais, nutricionais e sensoriais. Sua utilização vem sendo observada com grande êxito nos alimentos com viscosidade e com partículas suspensas, pois observa-se que as duas fases sólida e líquida têm a mesma taxa de aquecimento, evitando assim o sobreaquecimento das partículas maiores em zonas mais externas, fato este analisado como um fator preponderante no aquecimento convencional (GOULLIEUX; PAIN, 2005).

O tratamento ôhmico tem sido aplicado com êxito no tratamento térmico e concentração de sucos e polpas de frutas (ALCÁNTARA-ZAVALA et al. 2019; BROCHIER; MERCALI; MARCZAK, 2018; NOROUZI et al. 2021; MERCALI et al. 2012; MERCALI et al. 2015; SARKIS et al. 2019). Entretanto, poucos trabalhos comparam o efeito do tratamento ôhmico e convencional sobre os compostos bioativos de polpas, principalmente de frutas tropicais como a goiaba (CHAKRABORTYA; ATHMASELVIB, 2014). Como já abordados, a goiaba se destaca entre as frutas com maior teor de vitamina C e carotenoides e deste modo, o estudo do efeito de tecnologias não convencionais como o tratamento ôhmico sobre a cinética de degradação destes compostos é relevante para melhor conhecimento e predição de alterações que podem ocorrer durante o processo.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a influência do tratamento térmico convencional e ôhmico sobre a degradação do ácido ascórbico, carotenoides e cor em polpa de goiaba.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Pormenorizadamente, objetivou-se:

- Construir uma célula de aquecimento ôhmico em batelada integrado a um sistema de aquisição de dados e controle de potência e temperatura;
- Realizar a caracterização da polpa de goiaba quanto ao pH, sólidos solúveis totais, acidez titulável, teor de vitamina C, cor e carotenoides totais.
- Determinar a ordem da cinética de degradação e da constante específica de velocidade de degradação por meio do método de análise cinética integral;
- Calcular o valor de pasteurização do tratamento ôhmico e convencional.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 GOIABA

A goiabeira espécie do gênero *Psidium*, cujo nome científico é *Psidium guajava* foi classificada por Lineu em 1753 (POMMER et al. 2006) ocupa lugar de destaque entre as frutas brasileiras, por conta de seu aroma agradável, sabor e alto valor nutricional (LEE et al. 2010; FENG et al. 2015; HONG et al. 2012; CARAMÊS et al. 2017). A planta tem como seu centro de origem países como o México e Peru (BEZERRA et al. 2018). Atualmente é encontrada em diversas regiões subtropicais e tropicais do mundo devido a sua fácil adaptação a diferentes condições de solo e clima e facilidade de propagação.

A *Psidium guajava* L. conhecida como goiaba, pertence à família *Myrtaceae*, composta por mais de 100 gêneros e 3800 espécies de arbustos e árvores verdes, pode atingir aproximadamente 10 a 15 metros de altura (JAIARJ et al. 1999), possui ramos grandes e folhas oblongas ou ovaladas, de 5 a 15 cm de comprimento, com veias pinadas proeminentes. As flores têm quatro a seis pétalas brancas e estames brancos com anteras amarelas (FLORES et al. 2015). As árvores crescem rapidamente e frutificam dentro de 2-4 anos a partir da semente (MCCOOK-RUSSELL et al. 2012), e produzem frutos durante todo o ano (WATANABE et al. 2011). A Figura 1 ilustra a goiabeira do cultivar Pedro Sato em produção no município de Ibiporã - PR.

Figura 1 - Goiabeira do cultivar Pedro Sato



Fonte: Aatoria própria

Os frutos possuem forma arredondada, ovalada ou semelhante a uma pera, variando entre 3 a 10 cm de diâmetro e o peso do fruto varia entre 56 a 450 g (LEE et al. 2010). Possui polpa doce-acidulada e levemente aromático, internamente apresenta um mesocarpo de textura firme e 4 a 5 lóculos, cheios por uma massa de consistência pastosa, onde contém numerosas sementes pequenas e duras (SANTOS, 2011). A Figura 2 ilustra a goiaba do cultivar Pedro Sato.

Figura 2 – Goiaba do cultivar Pedro Sato



Fonte: Autoria própria

A coloração da casca do fruto varia conforme a espécie, dependendo do tipo e quantidade de pigmentos (FLORES et al. 2015). Geralmente, o fruto maduro tem casca de cor amarela e a cor da polpa pode ser branca, rosa, amarela, creme, laranja ou vermelha (POMMER et al. 2006).

O país com a maior produção de goiaba do mundo é a Índia, seguida pela China, Tailândia, Paquistão, México e Indonésia. O Brasil é o sétimo maior produtor de goiaba e o maior produtor de goiaba vermelha do mundo (RIBEIRO, 2018). Segundo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2019 o volume de produção brasileira de goiaba foi de 584.223 toneladas em uma área total plantada de 22.128 alqueires. Os principais estados produtores de goiaba no Brasil são Pernambuco, São Paulo e Rio de Janeiro, que participam com 80% do total produzido. O estado de São Paulo está entre os maiores produtores de goiaba do Brasil entre os anos de 2013 a 2019, a área de plantio expandiu em 24%. Segundo o IEA (Instituto de Economia Agrícola, 2019) a produção paulista de goiaba divide-se

basicamente em dois grupos: o primeiro destinado à indústria que utiliza 86% do total da produção do Estado, e o restante para consumo *in natura*.

De acordo com Maia et al. (2002), a goiaba é um dos frutos de maior importância nas regiões tropicais e subtropicais, não apenas pelo seu valor nutritivo e propriedades antioxidantes, mas também pela excelente aceitação e consumo *in natura*, pela capacidade de desenvolvimento em condições adversas e pela sua grande aplicabilidade industrial. Segundo Anisuzzaman et al. (2016), a goiaba é um fruto atrativo que vem despertando interesse para a indústria alimentícia gerando produtos como: polpa congelada, geleias, bebidas de frutas como os néctares (ALAMAR et al., 2016), refrigerantes (OSORIO; FORERO e CARRIAZO, 2011), sorvetes (MEHMOOD et al. 2014) e goma de goiaba.

Na sua forma *in natura* a goiaba possui grande quantidade de vitamina C, quantidades significativas de pró-vitamina A e vitaminas do complexo B, sais minerais como: cálcio, fósforo, ferro e potássio e fibras (FACCHI et al. 2018). Esta fruta possui um alto teor de antioxidantes, pois contém quatro vezes mais vitamina C do que a laranja (SANTOS et al. 2017; NIMISHA et al. 2013), que possui 50 mg de vitamina C 100 g⁻¹, além de ser fonte de licopeno, seu teor é duas vezes maior do que no tomate. A Tabela 1 ilustra a composição nutricional da goiaba vermelha em 100 g de produto.

Tabela 1 - Composição físico-química de goiaba vermelha (em 100 g de produto)

Parâmetros	
Carboidratos	14,32 g
Proteínas	2,55 g
Lipídeos	0,95 g
Fibras	5,40 g
Cálcio	18 mg
Fósforo	40 mg
Magnésio	22 mg
Ferro	0,26 mg
Potássio	417 mg
Vitamina A	31,7 µg
Vitamina C	228,30 mg
Valor calórico	68 kcal

Fonte: IBGE (2011).

Com relação a safra de goiabas, as frutas sofrem grandes perdas, devido ao manuseio inadequado durante a colheita, transporte e armazenamento, contribuindo assim para gerar perdas expressivas dos frutos. Outro fator a considerar é a curta vida útil deste produto, devido à sua taxa metabólica ser elevada, sendo de 3 a 5

dias dependendo da temperatura de armazenamento. De acordo com Menezes et al. (2011), por ser um produto muito perecível as perdas por deterioração alcançam cerca de 30% pós-colheita, se tornou difícil sua comercialização a longas distâncias. A produção de polpas de frutas congeladas tem-se tornado uma importante alternativa para o aproveitamento de frutas durante a safra, permitindo a estocagem das polpas e gerando menores perdas, agregando valor ao produto e aumentando a lucratividade (VIEIRA et al., 2011).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) define polpa de fruta, através do Regulamento Técnico Geral para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Fruta, “como o produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido de frutos polposos, por meio de processos tecnológico adequado, com teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto” (BRASIL, 2000).

Ainda de acordo com o mesmo regulamento, a polpa de fruta deve ser obtida de frutas frescas, sãs e maduras, com características físicas, químicas e sensoriais do fruto. Não deverá conter terra, sujidade, parasitas, fragmentos de insetos e pedaços das partes não comestíveis da fruta e da planta, assim como não deverá ter suas características físicas, químicas e organolépticas alteradas por equipamentos, recipientes e embalagens utilizados durante o seu processamento e comercialização.

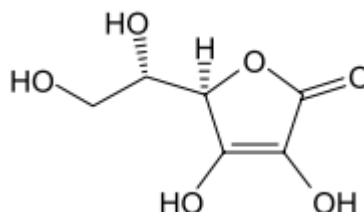
O congelamento de polpa de fruta é um método de conservação que preserva as características da fruta e permite seu consumo nos períodos de entressafra. Esse processo possibilita ao produtor uma alternativa para a utilização de frutas que não atendam ao padrão de comercialização do produto *in natura*, ou cujos preços não sejam compensadores.

3.2 ÁCIDO ASCÓRBICO

A vitamina C foi isolada em 1928, pelo húngaro Albert Szent-Györgyi e sintetizada pela primeira vez em 1938, quando foi reconhecida como L-ácido ascórbico, devido a sua eficiência para o tratamento e prevenção do escorbuto, doença que acomete os vasos sanguíneos e causa lesões aos tecidos conectivos (MEIRA, 1995).

A vitamina C pode ser denominada como L- ácido ascórbico, ácido ascórbico (AA), ácido deidroascórbico, ascorbato e vitamina antiescorbútica e sua estrutura química está representada na Figura 3. É uma vitamina hidrossolúvel, sensível à luz e ao calor, está envolvido em múltiplas funções biológicas e possui alta capacidade antioxidante. É cofator de várias enzimas envolvidas na hidroxilação pós-tradução do colágeno, na biossíntese de carnitina, na conversão do neurotransmissor dopamina a norepinefrina, na amidação peptídica e no metabolismo da tirosina. Além disso, participa na absorção do ferro dietético, devido a sua capacidade de reduzir a forma férrica (Fe^{3+}) a ferrosa (Fe^{2+}), propiciando absorção do ferro não-heme no trato gastrointestinal (LOUREIRO et al., 2002; KAGAN et al., 1990; HALLIWELL, 2001).

Figura 3 - Estrutura do ácido L- ascórbico

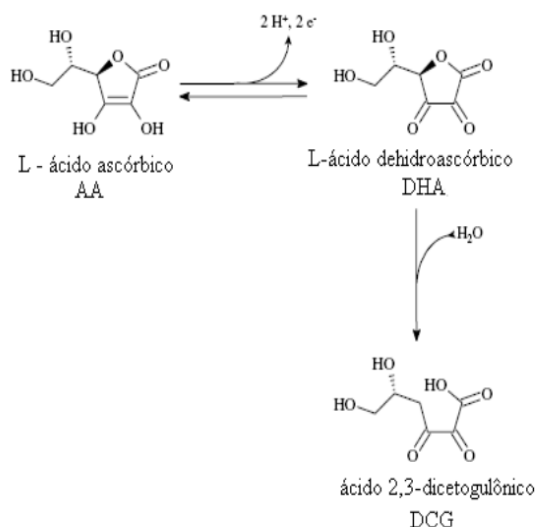


Fonte: FENNEMA (2010).

A vitamina C é encontrada na natureza nas seguintes formas: reduzida (ácido ascórbico) ou oxidada (ácido deidroascórbico). As duas formas são ativas, entretando, a forma oxidada está menos presente nas fontes naturais. A conversão do ácido ascórbico na forma deidroascórbico ocorre no organismo de forma natural e é reversível (ROCHA et al., 2013). O ácido ascórbico na presença de oxigênio é oxidado e transforma-se em ácido L-desidroascórbico sendo um composto sem atividade fisiológica (GREGORY III, 1996 apud SANTOS, 2008)

O ácido L-desidroascórbico (DHA) pode ser convertido em ácido 2-3-dicetogulônico (DCG), conforme apresentado na Figura 4. O DHA presente nos alimentos é um composto instável de difícil mensuração devido a sua instabilidade (MERCALI, 2011).

Figura 4 - Mecanismo de degradação aeróbica do ácido ascórbico



Fonte: HERNÁNDEZ et al. (2006) com adaptações.

As principais fontes de ácido ascórbico são frutas como acerola, cupuaçu, goiaba, frutas cítricas, abacaxi, tomate, maçã, banana, melão, cereja e morango. Os vegetais também são fontes dessa vitamina (batata, repolho, cebola, cenoura, pimenta, brócoli, couve-flor, folhas verdes, etc.). A quantidade de vitamina C presente nos alimentos está relacionada tanto às condições pré-colheita como pós-colheita. Os fatores pré-colheita incluem as condições climáticas que o cultivar está sendo submetidos, as práticas de agricultura utilizadas e o estágio de maturação da fruta. Os fatores pós-colheita incluem as condições de processamento e armazenamento (LEE; KADER, 2000).

3.2.1 Degradação do Ácido Ascórbico

O ácido L-ascórbico é uma substância cristalina de coloração branca e sem odor. Sua molécula é altamente polar e por isso é solúvel em soluções aquosas, levemente solúvel em etanol, ácido acético, acetonitrila e insolúvel em solventes de baixa polaridade. (FENEMA,2010). Em sua forma pura e cristalina, é estável à exposição ao ar, à luz e à temperatura ambiente por um período longo de tempo. (BALL, 2004). Em soluções aquosas e quando presente em alimentos, sua estabilidade está diretamente relacionada às condições de armazenagem e composição da solução ou matriz.

A degradação da vitamina C possui um mecanismo específico e depende de vários fatores como pH, ácidos, íons metálicos, teor de umidade, atividade da

água, aminoácidos, carboidratos, lipídios, enzimas e, principalmente, calor (ROJAS e GERSCHENSON, 1997). Pode seguir uma rota aeróbica ou anaeróbica, consecutivamente ou paralelamente, embora alguns autores relatem que os mecanismos envolvidos na degradação desta vitamina ainda não estejam totalmente esclarecidos (NAGY, 1980; VIEIRA et al., 2000; MANSO et al., 2001)

A degradação de ácido ascórbico em polpa de frutas pode sofrer influência por diversos fatores como: o tipo de processamento, as condições de estocagem, a escolha da embalagem, tempo de exposição à luz e ao oxigênio, a temperatura, o pH, presença de enzimas e catalisadores metálicos (MOSEER; BENDICH, 1991; SZENT-GYÖRGYI, 1999). De acordo com Marshall et al. (2016), quando o alimento é aquecido por longo período, pode ocorrer a redução de ácido ascórbico (AA) deste.

A degradação da vitamina C pode ocorrer tanto na fase de armazenamento quanto na fase de processamento, por dois mecanismos: aeróbio e anaeróbio. A oxidação ou a degradação em condições aeróbias ocorre principalmente durante o processamento, enquanto que a degradação anaeróbia ocorre durante o armazenamento (BURDURLU; KOCA; KARADENIZ, 2006).

O AA é mais estável em baixas temperaturas e sua perda é favorecida com o aumento de temperatura, ainda que existam casos raros onde o congelamento, ou armazenamento em baixas temperaturas não consigam minimizar as perdas desta vitamina (TAVARES et al., 2000).

Segundo Lee e Labuza (1975), os alimentos com umidade intermediária o índice de degradação de ácido ascórbico aumenta em atividade de água mais alta, provavelmente, pelo fato de a água ser o solvente para reagentes e catalisadores, favorecendo a reação (FENNEMA, 2010; LEŠKOVÁ et al. 2006).

Um dos fatores que mais influenciam a degradação do AA é o pH do meio em que se encontra, pois em pH neutro e alcalino o mesmo é instável. Estudos indicam que a degradação anaeróbia ocorre em pH variando de 3 a 4,5 e possui taxa de reação máxima a um pH de 4,1. Já a degradação aeróbia é favorecida em condições de pH alcalino, visto que a estabilidade do DHA (ácido dehidroascórbico) é muito baixa em pH maior do que 5,5 o que favorece a formação de DCG (ácido 2,3-dicetogulônico) (FENNEMA, 2010; ASSIRY; SASTRY; SAMARANAYAKE, 2006).

O AA é degradado principalmente pela enzima L-ascorbato oxidase, encontrada livremente no cisol ou ligada à membrana celular das plantas. Nos

alimentos que sofrem processamento térmico esta degradação é impedida uma vez que este processo age na destruição desta enzima (LEONG; OEY, 2014). Outras enzimas que atuam na degradação de AA, porém com menor intensidade, são a fenolase, a citocromo-oxidase e a peroxidase (LEE; KADER, 2000).

A degradação aeróbia de ácido ascórbico depende da disponibilidade de oxigênio dissolvido no meio. A solubilidade do oxigênio em meios líquidos, por sua vez, depende fortemente da temperatura e da composição da mistura em que se encontra dissolvido o oxigênio (FENNEMA, 2010).

O AA é utilizado na indústria alimentícia como um importante indicador de qualidade de retenção de nutrientes, pois sendo uma vitamina termolábil, a não alteração na sua quantidade indica que as demais vitaminas também estarão preservadas no produto durante o armazenamento e processamento (ALVES et al. 2010; QIU et al., 2018; ÖZKAN et al. 2004).

De acordo com os autores Vikran et al., (2005), Assiry et al., (2003), Mercali et al., (2012) em seus estudos sobre a cinética de degradação do ácido ascórbico em função das condições de processamento auxiliam na escolha de processos alternativos ou operações mais eficientes para minimizar perdas de qualidade. Além disso, fornece informações sobre a degradação ao longo do armazenamento, permitindo estimar o conteúdo da vitamina ao fim da vida-de-prateleira dos produtos, em seguida adequá-los à sua rotulagem (RAHMAN et al. 2015).

3.3 CAROTENOIDES

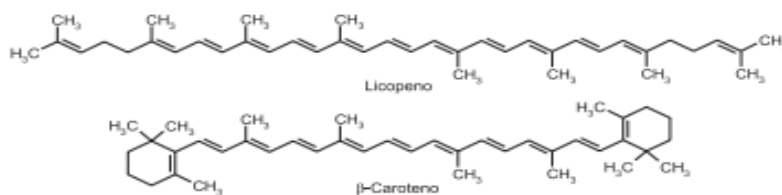
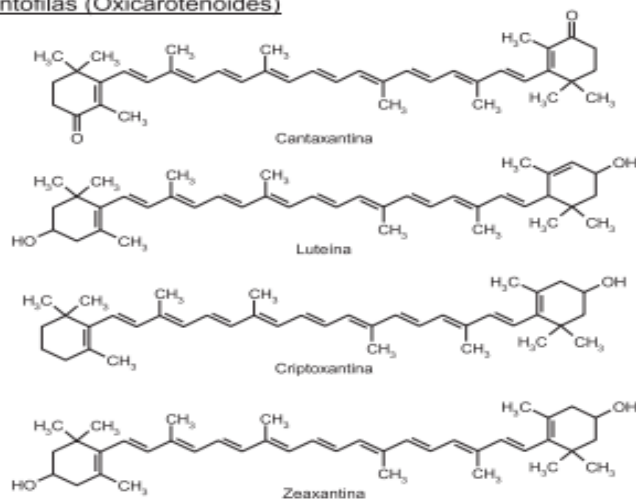
Os carotenoides são micronutrientes que estão presentes em níveis baixos nos alimentos (microgramas por grama), entretanto, exercem funções importantes no nosso organismo sendo consideradas substâncias bioativas, com efeitos benéficos à saúde (RODRIGUES-AMAYA et al. 2008). Além disso, os carotenoides são pigmentos lipofílicos naturais responsáveis pela coloração amarelo, laranja ou vermelho de muitas frutas, hortaliças, gema de ovo, crustáceos cozidos e alguns peixes (MUTSOKOTI et al. 2017), com larga distribuição na natureza, variadas estruturas químicas e diferentes funções biológicas (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997; MINGUÉZ-MOSQUERA et al. 2002).

Os carotenoides são o segundo maior grupo de pigmentos vegetais (ZHOU et al., 2017). Atuam como pigmentos acessórios na fotossíntese, absorvendo a energia luminosa na gama de 450-570 nm e depois transferindo para clorofilas, possuem também papel importante em resposta aos estresses ambientais, são sintetizados e bioacumulados em organelas de plantas chamadas cromoplastos (SALVIA-TRUJILLO et al. 2017; CHENG et al. 2017).

Já foram identificados mais de 600 carotenoides e isso se deve as diferentes modificações da sua estrutura básica através de hidrogenação, desidrogenação, ciclização, migração de ligação dupla, encurtamento ou extensão da cadeia, rearranjo, isomerização, introdução de substituintes ou combinações destes processos (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; MELLO, 2002).

Os carotenoides são encontrados frequentemente nos alimentos e no plasma humano sob a forma de α -caroteno, β -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína, violaxantina e zeaxantina sendo que apenas as três primeiras possuem atividade pró-vitáminica A (RODRIGUEZ-AMAYA et al. 2008; THURNHAM, 2007). Figura 5 ilustra a estrutura química dos carotenoides.

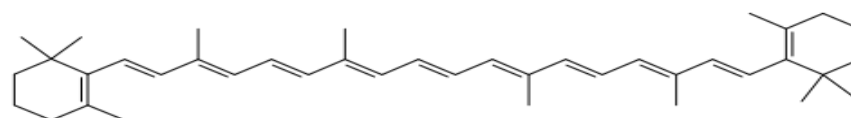
Os carotenoides possuem estrutura isoprenoide, geralmente constituídos por oito unidades de isoprenos, formando uma longa cadeia que pode conter de 2 a 15 duplas ligações conjugadas, o que permite várias configurações cis e trans (MORITZ; TRAMONTE, 2006).

Figura 5 - Estrutura química dos principais carotenoidesCarotenóidesXantofilas (Oxicarotenóides)

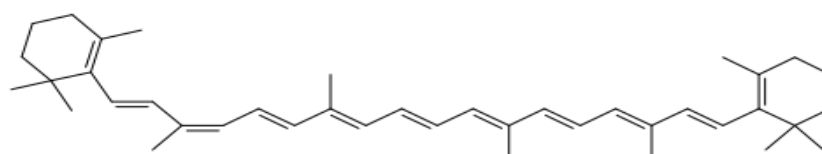
Fonte: RODRIGUEZ-AMAYA et al. (2007)

Por possuírem maior estabilidade, a maior ocorrência geométrica dos carotenoides na natureza é na conformação *trans* (CARVALHO, 1996). Essas estruturas são apresentadas na Figura 6.

Figura 6 - Estrutura *trans*- β -caroteno e 9-*cis*- β -caroteno, representando as formas *trans*- e *cis*- de um carotenóide



Trans- β -caroteno



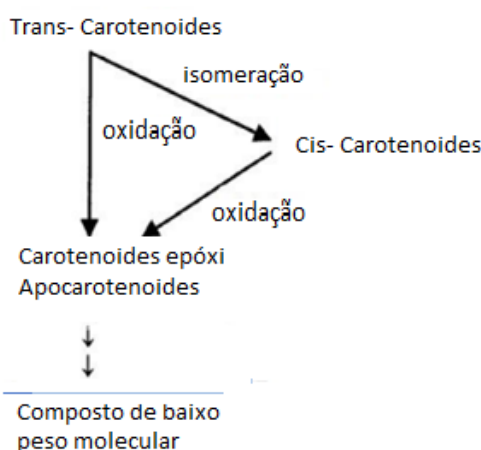
9-*cis*- β -caroteno

Fonte: MORAIS (2006)

Os carotenoides possuem em suas cadeias carbônicas um sistema de duplas ligações que constitui o grupo cromóforo responsável pela cor dos alimentos. São ligações interatômicas, entre os átomos de carbono, denominadas conjugadas. Para que apareça a cor amarelada, são necessárias, sete ligações conjugadas. Quanto maior o número de ligações conjugadas maior será o número de comprimento de onda de absorção em um maior comprimento de onda, preferindo uma coloração mais vermelho (RIBEIRO E SERAVALLI, 2004). Quanto maior o número de ligações na forma trans o composto tiver, mais escura será sua cor, entretanto, quanto maior o número de ligações na forma cis a cor do composto será menos intensa. As estruturas que possuem somente carbono e hidrogênio são chamadas de carotenos e as estruturas que possuem oxigênio são chamadas de xantofilas (UENOJO et al., 2007).

Os carotenoides são susceptíveis à isomerização e à oxidação durante o processamento e estocagem de alimentos, ocorrendo algumas alterações como a redução na coloração e na atividade biológica, além da formação de compostos voláteis que podem ocasionar alterações nas características sensoriais dos alimentos. A oxidação está relacionada com vários fatores como: concentração de oxigênio, presença de metais, enzimas, lipídios insaturados, antioxidantes, exposição à luz, ao tipo, ao estado físico dos carotenoides presentes, da rigidez do tratamento térmico, da composição da embalagem que irá acondicionar e das condições de estocagem deste alimento (RAMOS et al., 2001). A Figura 7 apresenta um esquema dos tipos de degradação que podem ocorrer em carotenoides.

Figura 7 - Esquema do mecanismo de degradação de carotenoides

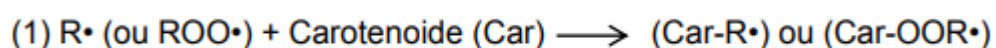


Fonte: RODRIGUEZ- AMAYA (2001)

De acordo com Gama e Sylos (2007) os carotenoides quando submetidos a processos térmicos apresentam estabilidades químicas distintas quanto à degradação. Rodriguez- Amaya (2001) relatou que o calor, a luz, a ação enzimática, a oxidação promovida por peróxidos provenientes da oxidação lipídica são os principais fatores que colaboram com a degradação dos carotenoides tanto por isomeração e/ ou oxidação.

Sales e Waughon (2013) estudaram o efeito do processamento térmico nos carotenoides nas polpas de murici e de cajá utilizando um planejamento experimental nas faixas de 1 a 300 segundos e temperatura de 70 a 90 °C. Os autores enfatizaram que para a polpa de murici não foi observado diferença significativa no teor de carotenoides nas diferentes condições do delineamento estudado. Segundo os autores, isto é sugerido pela presença de lipídeos que atuaram como isolantes térmicos protegendo os carotenoides presentes na polpa de murici. Com relação a polpa de cajá foi encontrado diferença significativa entre os tratamentos, sendo a maior degradação verificada na condição de maior temperatura e tempo (90 °C/ 300 s).

Os carotenoides normalmente apresentam três tipos de mecanismos com ação antioxidante: 1) adição radicalar à cadeia carotenoide; 2) abstração de hidrogênio do carotenoide e 3) transferência de elétrons (POLYAKOV et al. 2001).



Os carotenoides têm ação mais eficaz nos radicais oxigênio singlete e os peroxil. Sua ação oxidante é dependente do número de duplas ligações conjugadas da molécula sendo observado que o licopeno possui maior ação antioxidante que o β - caroteno (TAPIERO et al. 2004).

A estrutura química dos carotenoides está diretamente relacionada com sua atividade antioxidante, pois quanto maior for o número de ligações dupla conjugada maior será o poder antioxidante (UENOJO et al. 2007).

Os carotenoides são empregados na indústria de alimento na forma de corantes naturais, com a finalidade de repor a cor perdida durante o processamento e armazenagem, colorir os alimentos incolores e/ ou uniformizar a coloração. Além

disso, devido às suas atividades biológicas tem sido utilizado para enriquecer os produtos (MALDONADE, 2003). A presença de pequenas quantidades de carotenoides pode ajudar na prevenção da rápida oxidação dos constituintes dos alimentos sequestrando o oxigênio singleto (SCHROEDER; JOHNSON, 1995). Os antioxidantes têm a capacidade de agir retardando ou prevenindo a oxidação do substrato envolvido nos processos oxidativos, impedindo a formação de radicais livres (HALLIWELL, 1995).

A goiaba *in natura* possui em média 7000 μg 100 g^{-1} de carotenoides totais, sendo 1983 UI 100 g^{-1} de vitamina A, 1190 μg 100 g^{-1} de β -caroteno e 34,7 a 137,0 μg de licopeno g^{-1} (PADULA; RODRIGUEZ-AMAYA, 1986; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; ESCOBAR; SYLOS, 2006). É importante salientar que estes nutrientes sofrem influência em seu quantitativo com relação às condições climáticas, temperatura, umidade, condições do solo e procedimento de colheita e pós-colheita (SANAL, et al., 2004; PADUA E RODRIGUEZ-AMAYA, 1986).

3.4 AQUECIMENTO ÔHMICO

O aquecimento ôhmico é uma forma de processamento térmico alternativo que consome menor energia em um menor tempo. Durante o aquecimento ôhmico, uma corrente elétrica flui através do alimento e o mesmo oferece uma resistência gerando uma energia térmica neste, onde ocorre o aquecimento do produto de maneira rápida e volumetricamente (SASTRY; BARACH, 2000; FELLOWS, 2006). O aquecimento uniforme, rápido, colabora para um cozimento, extração, inativação enzimática e microbiológica, branqueamento, pasteurização e menor perda de vitaminas e minerais, garantindo seus atributos sensoriais como: sabor, aroma e cor no produto final em comparação com o aquecimento convencional (SAXENA; MAKROO; SRIVASTAVA, 2016; MAKROO et al., 2017; PAMAR et al., 2016).

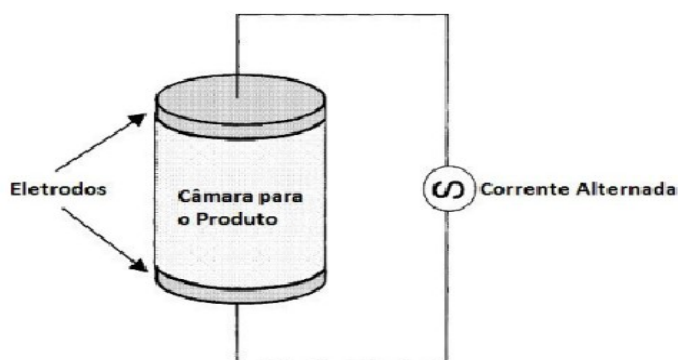
O aquecimento ôhmico ocorre de forma rápida e uniforme, aquecendo o alimento de forma integral gerando uma ausência de um ponto frio na amostra e reduzindo os problemas de incrustação quando comparado ao aquecimento convencional (LEIZERERSON; SHIMONI, 2005). Com isto, pode-se afirmar que este alimento possui alta qualidade, com um mínimo de alteração química, nutricional,

sensorial e microbiologicamente seguro em um curto tempo de processamento (MACHADO et al., 2010; RAHMAN, 1999).

Existem vários tipos de aquecedores ôhmicos projetados para realização de processos em batelada ou em processos contínuos, independente do tipo de aquecedores todos possuem em sua constituição: um par (ou mais) de eletrodos que entram em contato com o alimento, uma câmara ou tubo por onde o alimento é disposto ou escoado e uma fonte de energia elétrica alternada que alimenta o sistema através de ambos os eletrodos (RUAN et al., 2001; ICIER; ILICALI, 2005; SAKR; LIU, 2014). A Figura 8 exibe a representação esquemática de um aquecedor ôhmico genérico.

De acordo com Icier (2012) um fator importante, independente do modelo do aquecedor, é o isolamento elétrico dos sistemas de controle de temperatura para que não ocorram interferências que resultem em erros ou atrasos na leitura da temperatura do processo. Em se tratando de produtos muito ácidos, o aquecimento ôhmico é bastante rápido e com isto, faz-se necessário o uso de controladores com sensibilidade suficiente para que o tempo de resposta seja o menor possível e compatível com esta velocidade de aquecimento, evitando assim a ocorrência de um processamento mais intenso que o necessário.

Figura 8 - Esquema geral de um aquecedor ôhmico



Fonte: RUAN et al. (2001).

A geração de energia durante o aquecimento ôhmico é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade do campo elétrico e da condutividade elétrica de alimentos. A condutividade elétrica dos alimentos é influenciada pela temperatura, mobilidade iônica e quantidade de componentes não condutores, como gordura, açúcar e gases (CAPPATO et al. 2017).

Palaniappan e Sastry (1991) descreveram de maneira matemática o processo de aquecimento ôhmico. Adotando um processo puramente resistivo, a geração de calor é dada pela Equação 1:

$$Q = i^2 R \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo: Q = a taxa de calor ou energia gerado (W); I = a intensidade da corrente elétrica através da amostra (A) e R a resistência elétrica da amostra (Ω).

A resistência da amostra é inversamente proporcional a sua condutividade elétrica e pode ser expressa através da Equação 2, apresentada abaixo:

$$R = \frac{L}{A\sigma} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo: L = o espaço entre os eletrodos (m), A = a área dos eletrodos ou da seção transversal da amostra (m^2) e σ = condutividade elétrica do produto a ser aquecido ($S m^{-1}$).

O fator crítico nos processos térmicos é o estabelecimento de zonas frias, a localização desses pontos deve ser sempre estudada. No aquecimento ôhmico a taxa de aquecimento é dependente da condutividade elétrica do produto a ser aquecido. Além disso, os princípios utilizados para o aquecimento convencional nem sempre se aplicam (FELLOWS, 2006).

A taxa de aquecimento é dependente da condutividade elétrica do material a ser aquecido sendo considerado o parâmetro principal do processo. A condutividade elétrica dos alimentos é influenciada pelo aumento da atividade de água e temperatura. Esse aumento se faz por meio de alterações de mobilidade iônica a altas temperaturas e é uma função da concentração dos íons individuais representados pelo coeficiente de difusão (FARAHNAKY; AZIZI; GAVAHIAN, 2012). O comportamento da condutividade elétrica com a temperatura muitas vezes é considerado linear e pode ser representado pela Equação 3, onde σ_0 é a condutividade elétrica ($S m^{-1}$) na temperatura inicial do aquecimento T_0 , e γ é uma constante de proporcionalidade ($^{\circ}C^{-1}$) (PALANIAPPAN; SASTRY, 1991).

$$\sigma = \sigma_0(1 + \gamma(T - T_0)) \quad \text{Equação (3)}$$

No limite de condutividade elétrica infinita ou nula, a taxa de aquecimento elétrico da partícula será zero; um material altamente condutor não irá aquecer, por maior que seja a corrente que flui e com uma condutividade próxima de zero, nenhum aquecimento ocorrerá porque a corrente desprezível flui através de um isolante. Para valores de condutividade entre os limites acima, as partículas podem superaquecer ou subaquecer a área circundante líquida.

3.4.1 Fatores críticos do tratamento ôhmico

Durante o tratamento ôhmico, podem ocorrer reações eletroquímicas indesejáveis na interface entre o eletrodo e o produto. Essas reações podem ser de duas formas: a eletrólise da água e a reação de corrosão nos eletrodos. Em sistemas que possuem agitação, os produtos da eletrólise podem ser dispersos por todo meio, não estando localizados apenas na superfície dos eletrodos. A reação de eletrólise da água produz hidrogênio no cátodo e oxigênio no ânodo. Esse oxigênio molecular gerado na reação de eletrólise pode ocasionar oxidação de ácido ascórbico. As reações de corrosão dos eletrodos podem ocorrer tanto por oxidação direta do metal ou por reação eletroquímica de produtos químicos corrosivos. Os íons metálicos produzidos durante esse tipo de reação podem atuar como catalisadores da reação de oxidação de ácido ascórbico. A natureza desses íons depende do material dos eletrodos. As reações eletroquímicas são minimizadas através da utilização de altas frequências e materiais inertes para a confecção dos eletrodos por exemplo: platina, titânio ou teflon (FENEMA, 2010).

Capato et al. (2018) e Mercali et al. (2014), sugeriram que as configurações de tensão e frequência exercem papel importante e podem alterar o comportamento da matriz alimentar.

De acordo com Jaeger et al. (2016), as propriedades elétricas, termofísicas e reológicas dos produtos desempenham um importante papel na obtenção de aquecimento uniforme. Além dos parâmetros do produto, também são relevantes os parâmetros do processo, como a frequência de corrente utilizada, o material do eletrodo e a geometria da câmara de tratamento.

A condutividade elétrica não é um fator mutável, pois ela é inerente ao produto que irá sofrer o processo térmico e não pode ser alterada. Isto faz com que

a condutividade elétrica seja um fator primordial já que sua alteração é mínima, fazendo com que o desenho do processo seja configurado de acordo com suas características iniciais. De acordo com Sastry e Palaniappan (1992) e Icier (2012), a condutividade de um alimento varia em função da sua composição, mas também pode sofrer alterações em função da temperatura, tensão aplicada e frequência.

A condutividade elétrica depende da composição e da dissociação iônica de seus constituintes e da microestrutura do alimento. Alguns elementos como o teor de açúcares e de lipídeos podem mudar drasticamente a condutividade do produto enquanto que o aumento na concentração de proteínas influi de forma diretamente proporcional na corrente elétrica (PARROTT, 1992; MARCOTTE, et al., 2000; ICIER, 2012).

Para produtos de origem vegetal, o aumento do conteúdo de sólidos solúveis (principalmente açúcar) e insolúveis (fibras) promovem uma redução da condutividade do alimento (PALANIAPPAN; SASTRY, 1991; ICIER; ILICALI, 2005). Com o aumento da concentração reduz a condutividade elétrica de sucos e frutas (ICIER, 2012). Quando um produto possui uma concentração acima de 20% de sólidos totais (m/m) e acima de 40 °Brix pode ser necessário um projeto específico de aquecedor ôhmico devido à baixa condutividade elétrica (CASTRO et al., 2004).

A condutividade elétrica em polpa, sucos e outros produtos derivados de frutas é afetada principalmente pela concentração e tipo de açúcares e de ácidos presentes. O aumento na presença dos ácidos indica um aumento na condutividade elétrica. Entretanto, a variedade de frutas e suas composições sugerem que possuam condutividades diferentes, ainda que contenham a mesma quantidade de sólidos e a mesma composição de açúcares e ácidos, devido aos outros fatores como microestrutura e quantidade de fibras (ICIER, 2012).

Alguns autores como Mercali et al. (2012); Lima et al. (1999); Vikran, et al. (2005); Cisse et al. (2009) verificaram a importância de realizar estudos onde compararam o aquecimento convencional e o aquecimento ôhmico em diferentes tipos de polpa de frutas. De acordo com Castro et al. (2004) em estudo realizado com degradação de vitamina C em morangos sujeitos ao aquecimento ôhmico e convencional foi verificado que a degradação de vitamina C possui parâmetros idênticos em ambos processos de aquecimento, o que levou a conclusão que a presença do campo elétrico não afetou a degradação do ácido ascórbico.

Athmaselvia et al. (2014), afirmam que a concentração da polpa de goiaba influi diretamente na condutividade elétrica e no gradiente de tensão, ou seja, quanto maior a concentração da polpa, menor sua condutividade elétrica e sua tensão. A velocidade de degradação da vitamina C é maior com o aumento da tensão e com o tempo de tratamento térmico. Os autores ainda salientam que a escolha do eletrodo não influencia na degradação da vitamina C.

De acordo com Chakrabortya e Athmaselvib (2014), o aquecimento ôhmico retém propriedades físico-químicas por mais tempo, quando comparado ao método convencional em sucos de goiaba.

Segundo Achir et al. (2016), em seu estudo comparando o aquecimento ôhmico e o convencional em sucos de toranjes e laranjas vermelhas verificou-se que houve perda de xantofila de 70% e de 40% de hidroxantofilas no método convencional enquanto que as perdas foram inferiores a 30% e 20% no aquecimento ôhmico. Além disso, o licopeno e o β -caroteno se demonstraram estáveis independentes dos métodos.

3.4.2 Tratamento ôhmico aplicado em frutas

O aquecimento ôhmico de produtos particulados deve ser avaliado com cuidado, pois o tamanho da partícula, sua orientação, densidade e as razões entre as condutividades elétricas e capacidades caloríficas da fase líquida e sólida influenciam o processo como um todo. A capacidade calorífica e a condutividade elétrica afetam significativamente a distribuição de temperatura pelo produto e, em alguns casos pode ocorrer um sobreaquecimento ou um ponto frio, portanto deve-se conhecer ambos os parâmetros no momento da especificação do processamento (Sastry & Li, 1996; Icier, 2012).

O tratamento térmico em polpa de frutas tem por intuito reduzir a carga microbiana, inativar enzimas, mantendo as características sensoriais e nutritivas. Entretanto, o tratamento térmico inadequado pode reduzir a qualidade sensorial e nutricional do produto e por vários períodos, pesquisadores têm otimizado o binômio tempo/ temperatura para reduzir a exposição do alimento ao calor. Além disso, novas tecnologias de processo podem potencialmente reduzir ou mesmo eliminar a exposição ao calor (VIKRAM, et al. 2005). A aplicação do aquecimento ôhmico para

pasteurização da polpa é uma das alternativas estudadas, pois este processo resulta em um rápido aquecimento com menor prejuízo térmico às substâncias termolábeis, tais como as vitaminas e os pigmentos.

Vikram et al. (2005) analisaram a retenção e a cinética de degradação do ácido ascórbico em suco de laranja durante o aquecimento eletromagnético, em processos como infravermelho, aquecimento ôhmico e micro-ondas, em comparação com o aquecimento convencional. A redução do teor de vitamina C foi influenciada pelo método de aquecimento e pela temperatura de processamento. Entre os quatro métodos estudados, o aquecimento ôhmico apresentou o melhor resultado em relação à retenção de vitaminas em todas as temperaturas. A degradação de vitamina C seguiu uma cinética de primeira ordem para todos os métodos de aquecimento estudados. A energia de ativação foi maior para o aquecimento por micro-ondas, seguido pelo aquecimento ôhmico, aquecimento convencional e infravermelho. O aquecimento ôhmico apresentou uma maior energia de ativação devido às propriedades dielétricas elevadas do suco e à geração de calor instantâneo pela passagem de corrente elétrica.

Segundo Assiry et al. (2003), a degradação do ácido ascórbico durante o aquecimento ôhmico pode ocorrer em consequência a vários fatores como: a oxidação química (catalisada ou não catalisada); a degradação química anaeróbia e a degradação eletroquímica devido à ocorrência de reações nos eletrodos.

No processamento de alimentos a oxidação química e a degradação química são comuns. Contudo, na presença de oxigênio, o mecanismo de degradação oxidativo tem maior prevalência (FENNEMA, 2010). A presença de íons metálicos catalisa a reação oxidativa em especial íons Fe^{3+} e Cu^{2+} , podendo ocorrer a aceleração da reação por várias ordens de magnitude. As taxas de degradação são influenciadas pela solubilidade do oxigênio na temperatura da reação (ASSIRY, et al. 2003).

De acordo com Mercali, et al. (2013) em estudo com polpa de acerola, não houve diferença ($p < 0,05$) na velocidade de degradação do ácido ascórbico para experimentos realizados com frequências de campo elétrico na faixa de 10 a 10^5 Hz. Além disso, as constantes de velocidade de degradação dessas experiências não diferiram da encontrada para o aquecimento convencional. A constante de velocidade de aquecimento ôhmico a 10 Hz foi maior que as constantes de taxa de todos os outros tratamentos.

O aumento da frequência reduz a taxa de aquecimento dos alimentos, contudo, esta redução não é linear. Lima et al. (1999), verificaram que o aumento da frequência de 50 Hz para 10000 Hz, reduziu aproximadamente seis vezes a taxa de aquecimento de produtos até 80°C. Por outro lado, o uso de frequências maiores aumenta os valores de D (tempo de redução decimal, ou seja, tempo necessário para degradação de 90% de um composto a uma temperatura fixa) de nutrientes, como relatado por Mercali et al. (2014) para a degradação de vitamina C em polpa de acerola. Também observaram menores valores de D quando a polpa foi processada a 10 Hz do que quando processada a 10² a 10⁵ Hz, sendo que não houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os valores de D das amostras processadas na maior frequência.

Em estudo comparando a velocidade de degradação de vitamina C obtida pelo processo térmico convencional e ôhmico, os resultados obtidos por diferentes autores foram divergentes, sendo que, segundo Lima et al. (1999) a variação não foi significativa entre os tratamentos térmicos para sucos cítricos. Conforme Assiry et al. (2006), a degradação da vitamina C pelo aquecimento ôhmico é influenciada principalmente pelo pH do meio e também pela concentração de sal, efeitos tamponantes e potência elétrica utilizada no processo. De tal modo, é possível que tais fatores justifiquem a divergência entre os resultados obtidos por Lima et al. (1999) e Vikram et al. (2005). Para β -caroteno, resultados obtidos após aplicação de aquecimento ôhmico (no intervalo de 10 a 40 V/cm) em espinafre demonstraram maior retenção do que o observado no aquecimento convencional (YILDIZ et al. 2010).

Leizeron e Shimoni (2005) estudaram o efeito da pasteurização ôhmica de suco de laranja nas características sensoriais. O suco processado por aquecimento ôhmico não foi diferenciado do suco não processado, e ambos foram diferenciados do suco pasteurizado de forma convencional.

3.5 AQUECIMENTO CONVENCIONAL

O tratamento térmico convencional, por aquecimento direto ou indireto, é o método mais utilizado para estender a vida útil dos alimentos. Contudo, estes processos podem causar algumas alterações no produto como: perdas de nutrientes

e vitaminas, principalmente de compostos termosensíveis, e alterações indesejáveis nas características sensoriais (CULLEN et al. 2012).

A aplicação de calor nos alimentos tem por finalidade principal a inativação de micro-organismos patogênicos e deteriorantes presentes no alimento. Este tratamento térmico tem capacidade de inativar enzimas, as quais podem causar escurecimento e alteração sensorial no alimento. O tratamento térmico nos alimentos pode gerar alterações físicas e químicas, que podem ser desejáveis ou indesejáveis como: a gelatinização, a desnaturação e o escurecimento de proteínas em produtos cárneos, o que, por sua vez, afetam as características sensoriais do alimento como cor, sabor e textura (FELLOWS, 2000).

O processamento térmico convencional é realizado através de uma parede quente e do coeficiente de transferência condutiva e/ou convectiva do alimento, o que possibilita a geração do chamado ponto frio, ou seja, o ponto onde o aquecimento ocorre de forma mais lenta no alimento (FELLOWS, 2000).

Os tempos de processamento devem ser calculados de forma que o binômio tempo e temperatura no ponto frio do alimento sejam suficientes para garantir a estabilidade esperada. Com isto, o processamento em outros pontos do produto ocorre acima do necessário (CULLEN et al. 2012), o que pode resultar em alterações indesejadas no mesmo. Além disso, o processo de transferência de calor depende, convencionalmente, de um fluido mais quente para aquecer o produto, sendo comumente utilizado vapor, água ou óleo quente. A produção de tais fluidos requer uma grande demanda de energia e gastos com tratamento de resíduos (SAKR; LIU, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PROCESSAMENTO DA POLPA DE GOIABA

A polpa de goiaba, cultivar Pedro Sato, foi processada no Laboratório de tecnologia de vegetais e bebidas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina- PR.

O processo de obtenção da polpa de goiaba consistiu das seguintes etapas:

a) Colheita/ transporte: as goiabas foram colhidas manualmente de uma plantação localizada na cidade de Ibiporã - PR. Após a colheita, as goiabas foram acondicionadas em caixas plásticas para serem transportadas até o destino;

b) Seleção: foram descartadas as goiabas verdes e estragadas, ficando para o processamento apenas as goiabas sadias e maduras;

c) Lavagem/ sanitização: as goiabas foram lavadas em água corrente para remoção de sujidades do campo e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 5 minutos. Em seguida, os frutos foram enxaguados para remoção do cloro residual;

d) Toailete: após a lavagem foi realizado a toailete, retirando as partes estragadas e o pedúnculo presente na fruta. Em seguida as goiabas foram cortadas ao meio para ajudar na despolpa da mesma;

e) Despolpa: as goiabas foram colocadas em despulpadeira elétrica (Macanuda, Brasil), separando-se a polpa das sementes e partículas grosseiras (Figura 9);

f) Acondicionamento/ fechamento: as polpas foram envasadas em sacos plásticos transparentes de polietileno com capacidade de 400 mL, selados e envoltas com folha de alumínio. Logo após, foram acondicionadas em um pote plástico retangular com tampa e congeladas a -12°C .

Figura 9 – Despoldadeira de fruta



Fonte: Autoria própria

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE GOIABA

A polpa de goiaba foi caracterizada quanto ao teor de sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável e cor.

4.2.1 Teor de sólidos solúveis totais

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado pela leitura direta em refratômetro digital (Hanna Instruments, Brasil), segundo método descrito na AOAC (2010). A medida foi realizada em triplicata.

4.2.2 pH

O pH foi medido em potenciômetro (Hanna Instruments, modelo HI 2221, Brasil) devidamente calibrado, de acordo metodologia descrita na AOAC (2010). A medida foi realizada em triplicata.

4.2.3 Acidez total titulável

A determinação da acidez total titulável foi realizada por titulação, da amostra com hidróxido de sódio 0,1 mol/ L com indicador fenolftaleína segundo o método descrito na AOAC (2010). A medida foi realizada em triplicata.

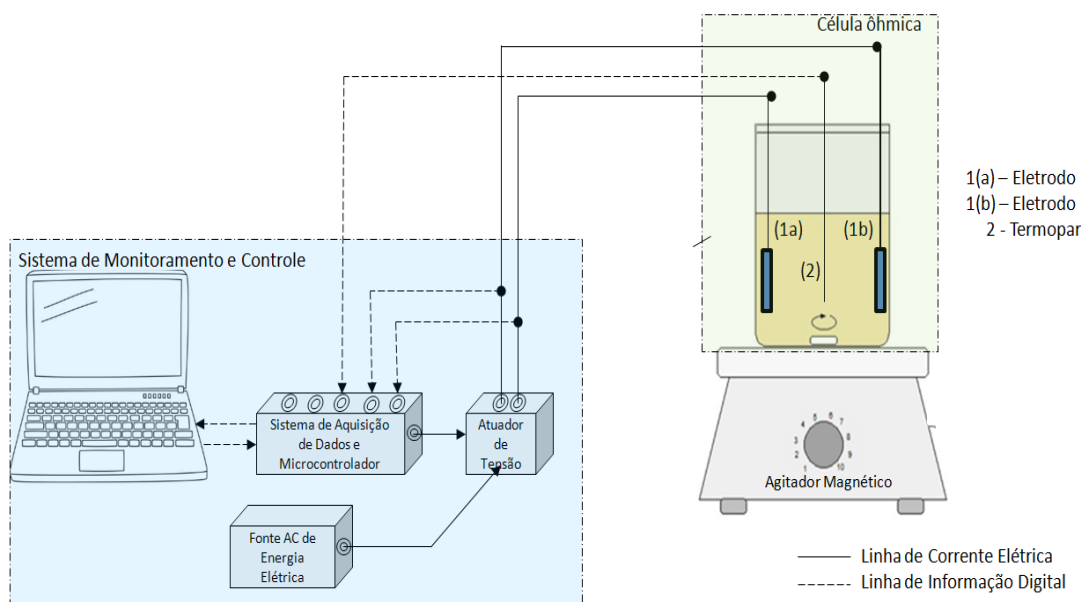
4.3 CONSTRUÇÃO DA CÉLULA ÔHMICA

A configuração da célula ôhmica que foi desenvolvida na UTFPR - Câmpus Apucarana está apresentada na Figura 10. A célula consiste em um sistema de aquecimento em um vidro em que a tampa hermética apresenta quatro entradas específicas onde uma é para acoplar o termopar calibrado para medir a temperatura que foi ligada a um sistema de aquisição de dados e a um computador, duas entradas para os eletrodos e uma entrada para realizar a coleta de amostra. A célula ôhmica possui dois eletrodos em platina retangulares com tamanho aproximado de 2 x 3 cm cada, espaçados por uma distância de aproximadamente 6 cm. A célula foi colocada sob um agitador magnético (Ika®, modelo C- MAG HS 7, Alemanha), para promover a agitação da polpa durante o aquecimento. O sistema de aquisição de dados foi responsável pelo monitoramento e registro de dados relativos ao consumo elétrico e a temperatura em função do tempo e o sistema de controle foi responsável pelo controle de temperatura do tratamento térmico.

Para escolha dos eletrodos foram realizados testes no Câmpus Apucarana com placas de inox, platina e titânio, onde foi observado que os eletrodos de inox sofriam intensas reações eletroquímicas os quais contaminavam a amostra de polpa de goiaba com uma coloração marrom o que pode evidenciar a liberação de íons metálicos como ferro, cromo, níquel entre outros. O mesmo também ocorreu, mas

em menor incidência com os eletrodos de titânio, sendo assim optou-se por usar os eletrodos de platina que não causaram alteração na cor da polpa de goiaba por contaminação devido a reações sofridas pelos eletrodos.

Figura 10 - Principais elementos que compõem a célula de aquecimento ôhmico



Fonte: Autoria própria

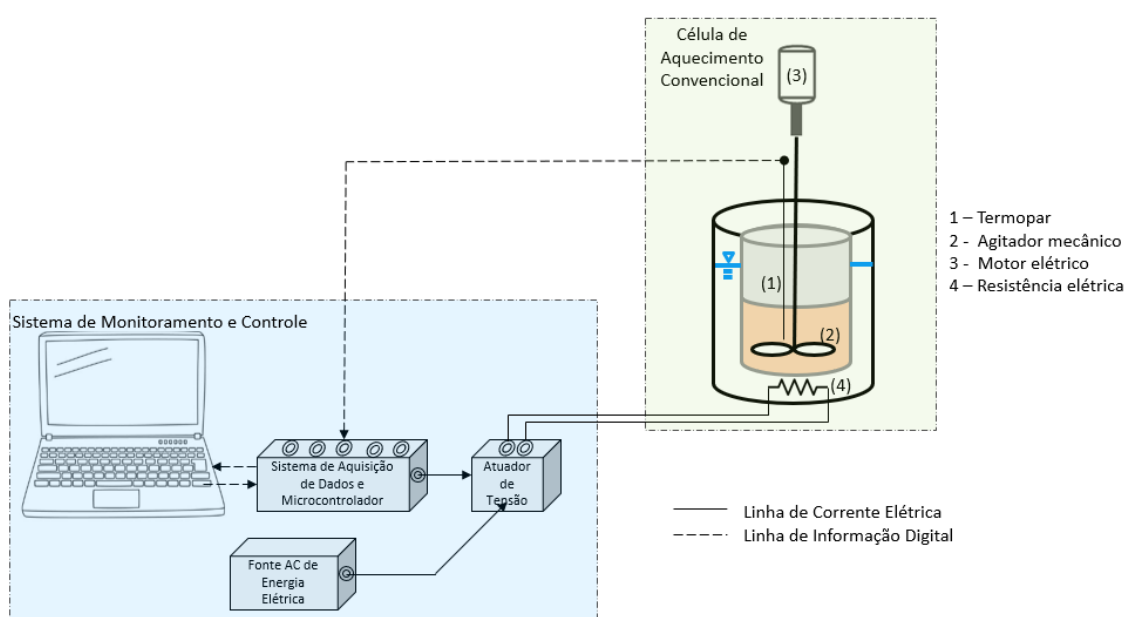
Foram realizados ensaios experimentais em triplicata nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C. As amostras de polpa de goiaba foram coletadas em alíquotas no volume de 19 mL sendo que o primeiro ponto foi coletado quando amostra atingiu a temperatura desejada, em seguida depois de 5 minutos da tomada inicial, o próximo no tempo de 10 minutos e os demais pontos a cada 20 minutos até alcançar 1 hora e 50 minutos de tratamento térmico. Logo após a coleta das amostras, as mesmas foram resfriadas em banho de gelo para posterior determinação do teor de ácido ascórbico, carotenoides e cor.

4.4 AQUECIMENTO CONVENCIONAL

O experimento foi realizado por meio de um recipiente de vidro 600 mL com tampa hermética, o qual apresenta 3 orifícios, sendo um para acoplar o termopar tipo K calibrado, o segundo para inserir o agitador mecânico e o terceiro para coletar a amostra.

O recipiente de vidro foi parcialmente mergulhado em banho de água com temperatura controlada para o aquecimento das amostras, o tratamento térmico foi provido por meio de uma resistência elétrica sendo esta controlada por um dispositivo analógico digital desenvolvido pelo Câmpus Apucarana. O mesmo dispositivo compõe um sistema de aquisição de dados que é responsável pelo monitoramento e registro de dados relativos ao consumo elétrico e temperatura média da amostra em função do tempo.

Figura 11 - Principais elementos que compõem a célula de aquecimento convencional



Fonte: Autoria própria

As amostras de polpa de goiaba foram analisadas sob as mesmas condições do tratamento ôhmico.

4.5 DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO

O teor de ácido ascórbico foi determinado pelo método de Tillmans modificado que baseia-se na redução do sal 2,6 diclorofenolindofenol por uma solução ácida de vitamina C. Com o auxílio de uma pipeta, foram coletados 4,0 g da amostra (polpa de goiaba) em um bequer, em seguida foi adicionado a solução de ácido oxálico 2% (m/v) e agitado com o auxílio de um bastão de vidro. Esta solução

foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL e o volume do balão completado com a solução de ácido oxálico.

Para a determinação do teor de ácido ascórbico na amostra, 10 mL do extrato foi transferido para um erlenmeyer e titulado com a solução de 2,6 diclofenol indofenol a 0,02% (m/v) até viragem para coloração rósea clara. Esta titulação foi realizada em triplicada para cada tomada de amostra. Paralelamente, foi realizada a titulação de uma solução padrão de ácido ascórbico.

4.6 DETERMINAÇÃO DOS CAROTENOIDES

Para a determinação dos carotenoides utilizou-se a metodologia de Lee e Castle (2001), com modificações. Para tanto, pesou-se 2,5 g da polpa de goiaba em um tubo falcon com tampa e acrescentou-se 10 mL da solução composta por: 5 mL de hexano, 2,5 mL de metanol e 2,5 mL de acetona e agitou-se em agitador de tubos (Phoenix, modelo AP 59, Brasil) com potência de 130 W por cerca de 1 minuto. Após a mistura foi centrifugada por 10 minutos, onde observou-se a separação de três fases distintas. Com um auxílio de uma pipeta foi retirado o sobrenadante e colocado na cubeta de quartzo para realização da leitura. A absorvância do extrato foi medida em espectrofotômetro UV-vis (Femto, Brasil) no comprimento de onda de 450 nm. O teor de carotenoides ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) foi calculado de acordo com a Equação 4 (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; RODRIGUEZ- AMAYA; KIMURA, 2004):

$$\text{Teor de Carotenoides (mg } 100 \text{ g}^{-1}) = 10^4 \frac{AV}{A_{1\text{cm}}^{1\%} M} \quad \text{Equação (4)}$$

Em que: A = é a medida da absorvância no comprimento de onda para o betacaroteno (450 nm); V é o volume final da solução; $A_{1\text{cm}}^{1\%}$ é o coeficiente ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente (2550 para betacaroteno); M é a massa da amostra em gramas tomada para a análise.

4.7 MEDIDA DE COR

Para medida de cor foi utilizado o colorímetro Konica Minolta, modelo CR-400, utilizando iluminante D₆₅. Foi empregada a escala de cor do sistema CIELab utilizando os parâmetros L*, a* e b*, em que L* se refere aos valores de luminosidade (0= preto e 100= branco), a* indica a região do vermelho (+a) ao verde (-a) e b* refere-se à região do amarelo (+b) ao azul (-b). Além disso, foram calculados o ângulo de tonalidade cromática (h*), a cromaticidade ou saturação da cor (c*) e a diferença global de cor (ΔE^*) conforme as equações apresentadas abaixo:

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

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Equação (6)}$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad \text{Equação (7)}$$

4.8 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS E TERMODINÂMICOS

Quatro modelos matemáticos foram avaliados para a cinética de degradação do ácido ascórbico, a saber:

$$\text{Modelo de Ordem Zero: } C = C_0 - kt \quad \text{Equação (8)}$$

$$\text{Modelo de Primeira Ordem: } C = C_0 e^{-kt} \quad \text{Equação (9)}$$

$$\text{Modelo de Segunda Ordem: } C = \frac{1}{kt+1/C_0} \quad \text{Equação (10)}$$

$$\text{Modelo de Weibull: } C = C_0 e^{-kt^\alpha} \quad \text{Equação (11)}$$

Em que C = concentração de ácido ascórbico, C₀ = concentração de ácido ascórbico inicial, k = constante da velocidade de reação, t = tempo e α = fator de forma.

Para a realização dos ajustes aos modelos testados, o tempo zero foi definido igual ao instante em que a polpa atingiu a temperatura de *setpoint*, indicada pelo sistema supervisor e para mitigar os efeitos da variação do conteúdo de ácido ascórbico nas polpas, devido principalmente a variações sazonais e maturação do fruto, a concentração foi normalizada por meio da Equação 12 segundo a recomendação de Vikram (2005).

$$C = \frac{C_{aa}}{C_{aa0}} \quad \text{Equação (12)}$$

em que C_{aa} é a concentração de ácido ascórbico e C_{aa0} é a concentração de ácido ascórbico inicial.

O tempo de redução decimal (D), o tempo de meia vida ($t_{1/2}$), foram calculados por meio das Equações 13 e 14, como descrito em Toledo (1999) e sendo válidas para o modelo cinético de primeira ordem.

$$D = \frac{\ln(10)}{k} \quad \text{Equação (13)}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} \quad \text{Equação (14)}$$

Os parâmetros termodinâmicos da degradação do ácido ascórbico, a saber: energia de ativação (E_a), entalpia de ativação (ΔH), energia livre de Gibbs (ΔG) e variação de entropia (ΔS) foram calculados por meio das Equações 15 a 19, como descrito em Martynenko e Chen (2016) e Sarkis et al. (2019).

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad \text{Equação (15)}$$

$$\Delta H = E_a - RT \quad \text{Equação (16)}$$

$$\Delta G = -RT \ln\left(\frac{k h}{k_b T}\right) \quad \text{Equação (17)}$$

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \quad \text{Equação (18)}$$

$$\ln\left(\frac{C_{aa}}{C_{aa0}}\right) = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R T}\right) t \quad \text{Equação (19)}$$

R é a constante universal dos gases (8,314 J mol⁻¹ K), T é a temperatura em K, h é a constante de Plank (6,6262x10⁻³⁴ J s⁻¹) e k_B é a constante de Boltzmann (1,3806x10²³J K⁻¹).

Para calcular o tempo letal equivalente de um processo de pasteurização é necessário conhecer o valor de pasteurização que é representado por P, que pode ser calculado pela seguinte equação (20) (FDA, 2011; SILVA E GIBBS, 2010):

$$P = \int_0^t 10^{\frac{T(t)-T_{ref}}{z}} dt \quad \text{Equação (20)}$$

Sendo: T é a temperatura no instante de tempo t de aquecimento, T_{ref} é a temperatura de referência e z caracteriza a resistência térmica de um micro-organismo a variação de temperatura. A temperatura de referência para pasteurização é usualmente 70 ou 90 °C.

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey com 95% de nível de significância (Statistica® versão 7.0).

Foram utilizados como índices estatísticos para avaliar o ajuste dos modelos o coeficiente de determinação (R²), porcentagem máxima de variação explicável (R^{2máx}), qui-quadrado (χ²), critério de informação de Akayke (AIC) e critério de informação Bayesiano (BIC), os quais estão expressos pelas Equações 21 a 25. Todos os ajustes foram realizados com o software Statistica® versão 7.0, enquanto o cálculo do χ², R^{2máx}, AIC e BIC foram realizados por meio do Excel Microsoft Corporation, versão 2010, Microsoft Office Professional Plus.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \widehat{y}_{ij})}{\sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2} \quad \text{Equação (21)}$$

$$R^{2\text{máx}} = \frac{\sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 - \sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2}{\sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2} \quad \text{Equação (22)}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \widehat{y}_{ij})}{n - p} \quad \text{Equação (23)}$$

$$AIC = -2 \ln(Lp) + 2p \quad \text{Equação (24)}$$

$$BIC = -2 \ln(Lp) + \ln(n) p \quad \text{Equação (25)}$$

Sendo: n_i é o número de repetições no nível i ; m = número de níveis distintos da variável independente; n é o número total de observações; y_{ij} é o valor experimental da i -ésima observação, \bar{y} é a média dos valores experimentais, \bar{y}_i é a média dos valores experimentais em um nível, \widehat{y}_{ij} é o valor previsto pelo modelo para a i -ésima observação, n é o número de observações, p é o número de parâmetros do modelo e Lp é o logaritmo do máximo da função de verossimilhança do modelo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE GOIABA

Os resultados da avaliação físico-química da polpa de goiaba em relação ao teor de sólidos solúveis, pH e acidez titulável encontram-se na Tabela 2. Em comparação com os resultados obtidos com os padrões de identidade e qualidade estabelecidos pela Instrução Normativa nº 1, de 07 de janeiro de 2000 para polpa de goiaba (BRASIL, 2000) onde o limite mínimo para pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável e ácido ascórbico são de 3,5, 7,0° Brix ,0,40g/ 100g e 40 mg/100g respectivamente. Com isso, os parâmetros físico-químicos da polpa de goiaba utilizada no presente estudo estão em conformidade com referida instrução normativa.

Tabela 2 - Características físicas e químicas da polpa de goiaba

Parâmetro	Média ± Desvio Padrão
Sólidos solúveis totais (° Brix)	10,10 ± 0,06
pH	3,98 ± 0,05
Acidez total titulável (%)	0,33 ± 0,02
Ácido ascórbico (mg/ 100 g)	41,02 ± 0,39
Carotenoides (µg/ 100 g)	500,27 ± 0,26
Cor - L*	41,67 ± 0,05
a*	13,08 ± 0,08
b*	12,06 ± 0,05

* Média em triplicata

Fonte: Aatoria própria

Sharma et al. (2010), avaliaram diferentes genótipos de goiabas e observaram uma variação de °Brix de 9,4 a 13,5, valores bastante próximos ao obtidos no presente trabalho. É importante salientar que as diferenças encontradas são justificáveis, pois fatores climáticos, variedade, solo, manejos pré e pós-colheitas, processamento e armazenamento influenciam diretamente nas características físicas e químicas da polpa de goiaba.

Confrontando os resultados encontrados de pH com a literatura verificou-se que os mesmos estavam em conformidade. Brunini et al. (2003), em estudo com polpa de goiaba durante armazenamento a -20°C , por 22 semanas, obtiveram pH com variação de 3,15 a 4,03. Enquanto Evangelista e Vieites (2006), em estudo com polpa de goiaba congelada referiram valores de pH variando de 3,5 a 4,5. O resultado de acidez total encontrado também situa-se na faixa descrita tanto por Evangelista e Vieites (2006) como por Brunini et al. (2003), sendo de 0,28 a 0,86 e 0,406 a 0,51 g de ácido cítrico/ 100 g de polpa, respectivamente.

Salgado et al. (1999) que avaliou os efeitos do processo utilizado na obtenção de polpa de frutas congelada observou que com relação ao pH, °Brix e acidez a polpa congelada de goiaba apresentou valores aproximados que foram de 4,04; 8,83 e 0,55 respectivamente, sendo valores próximos a polpa de goiaba utilizada.

O conteúdo de AA foi inferior aos encontrados por Padula e Rodriguez-Amaya (1986) em goiabas vermelhas cultivadas no Estado de São Paulo (97,7 mg 100 g^{-1}). Entretanto, os mesmos autores encontraram valores inferiores em goiabas produzidas na região Nordeste do Brasil (9,2 a 52,2 mg 100 g^{-1}). Maior conteúdo de AA em goiabas com casca (144 mg 100 g^{-1}) em relação a goiabas sem casca (132 mg 100 g^{-1}) foi relatado por Lima et al. (2007). Tais achados reforçam a afirmação da literatura de que os teores de vitaminas podem variar de acordo com a variedade do vegetal, parte do alimento analisada, região e condições de cultivo (LEE; KADER, 2000; SOUZA et al., 2004).

Na goiaba, os teores de carotenoides encontrados neste estudo foi de 500,27 $\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$, contudo na literatura os autores analisam de forma mais criteriosa dividindo o mesmo em β -caroteno e licopeno onde Padula e Rodriguez-Amaya (1986), encontram valores de 370 $\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$ e 620 $\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$, respectivamente. Menezes et al. (2016) em estudo sobre a composição centesimal, compostos bioativos, atividade antioxidante e caracterização fenólica da polpa de goiaba encontrou valores de carotenoides totais em torno de $608,2 \pm 19,8\ \mu\text{g}/100\text{ g}^{-1}$ sendo valores aproximados ao encontrados na polpa de goiaba utilizada.

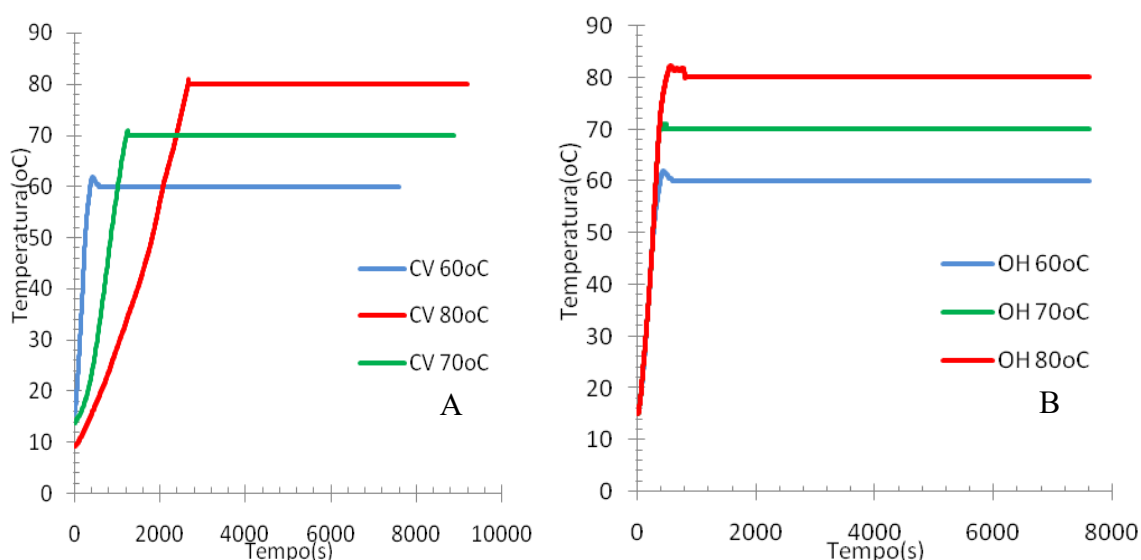
Comparando os resultados referentes aos parâmetros de cor L^* , a^* e b^* , os resultados encontrados na polpa de goiaba foi de $41,67 \pm 0,05$, $13,08 \pm 0,08$ e $12,06 \pm 0,05$ respectivamente, sendo valores próximos ao observado por Cruz (2013) em polpa de goiaba (L^* , a^* e b^* de $38,60 \pm 0,26$, $17,63 \pm 1,17$ e $20,02 \pm 5,79$,

respectivamente). A coloração da polpa da goiaba está relacionada com a maturação da fruta e a espécie.

5.2 DINÂMICA DE AQUECIMENTO DA POLPA FRENTE AOS TRATAMENTOS TÉRMICOS

O perfil de elevação da temperatura durante os tratamentos térmicos está apresentado na Figura 12 (A) e (B) para as três temperaturas, 60, 70 e 80 °C de *setpoint*.

Figura 12 - Perfil de aquecimento da polpa de goiaba para o tratamento convencional (A) e ôhmico (B).



Fonte: Autoria própria

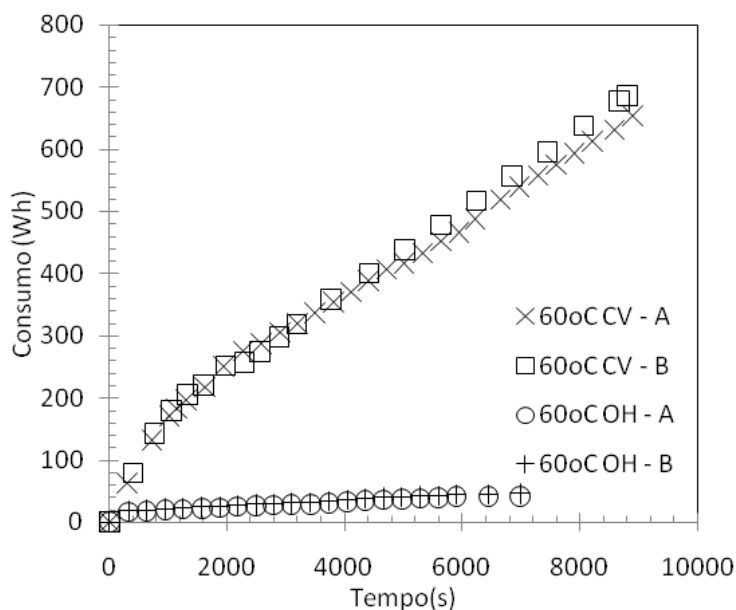
Os perfis de temperatura diferiram acentuadamente em função da forma de aquecimento. Durante o aquecimento convencional, o tempo médio necessário para atingir as temperaturas de 60°, 70° e 80 °C foram 380 s, 1216 s e 2674 s, respectivamente. Enquanto que para o aquecimento ôhmico o tempo foi significativamente menor, 370 s, 418 s e 490 s. É importante salientar que em todos os tratamentos térmicos as amostras tinham temperaturas iniciais próximas como mostra a Figura 12 A e B, 12 °C. É notório o maior período que o tratamento térmico convencional levou para atingir a temperatura de *setpoint*, fato que se deve a maior

inércia térmica do sistema, pois neste é necessário elevar a temperatura da massa de água e transferir calor entre as superfícies de contato do vidro com a água e a polpa, além da perda de calor para o ambiente por meio da superfície do compartimento da água e da eficiência térmica da resistência elétrica. Por outro lado, o aquecimento com o esquema ôhmico foi quase que imediato, uma vez que neste aproveita-se da resistência elétrica da própria polpa para a geração de calor para o seu aquecimento, não sendo necessário aparatos adicionais, como água de aquecimento do sistema convencional e superfícies de contato térmico, eliminando por consequência os problemas de incrustação quando comparado ao aquecimento convencional.

As velocidades médias de aquecimento para o tratamento convencional foram de 0,16 °C/ s, 0,06 °C/ s e 0,03 °C/ s enquanto que para o aquecimento ôhmico foi de 0,16 °C/ s, 0,17 °C/ s e 0,16 °C/ s. Observa-se que a velocidade de aquecimento promovida pelo aquecimento ôhmico se mantém praticamente constante, enquanto que para o tratamento convencional a velocidade de aquecimento reduziu em média de 80% para a temperatura de 60 °C para a de 80 °C. Outro parâmetro que evidencia a vantagem do aquecimento ôhmico sobre o convencional, quanto à eficiência térmica é o consumo energético para a promoção dos aquecimentos. A Figura 13 apresenta o histórico do consumo elétrico dos dois tratamentos térmicos para a temperatura de 60 °C. O consumo elétrico médio do sistema convencional para os dois ensaios realizados foi significativamente superior ao do sistema ôhmico, no primeiro houve um consumo médio total de 690 Wh, enquanto para o sistema ôhmico o consumo médio total foi de 46 Wh, ou seja, uma economia de 93 %. Esta economia de energia corrobora com a afirmação de Pereira e Vicente (2010), na qual os autores comentam que um mínimo de 70 % pode ser economizado no tratamento ôhmico com relação ao aquecimento convencional.

Os perfis de consumo elétrico da Figura 13, também revelaram que os experimentos, feitos em duplicata, possuem histórico de consumo muito semelhantes, o que corrobora quanto à repetibilidade dos experimentos.

Figura 13 - Comparação de gasto de energia elétrica entre o aquecimento ôhmico e convencional na temperatura de 60 °C



Fonte: Autoria própria

Ainda em relação à dinâmica de aquecimento dos dois tratamentos térmicos, se faz interessante avaliar a eficiência energética dos mesmos. Para tal, usou-se a Eq. (26), segundo Ye et al. (2004) para o cálculo da eficiência de conversão de eletricidade em calor.

$$\eta = 100\% \frac{m_{polpa} C_{p_{polpa}} (T_{setpoint} - T_{inicial})}{\int VI dt} \quad \text{Equação (26)}$$

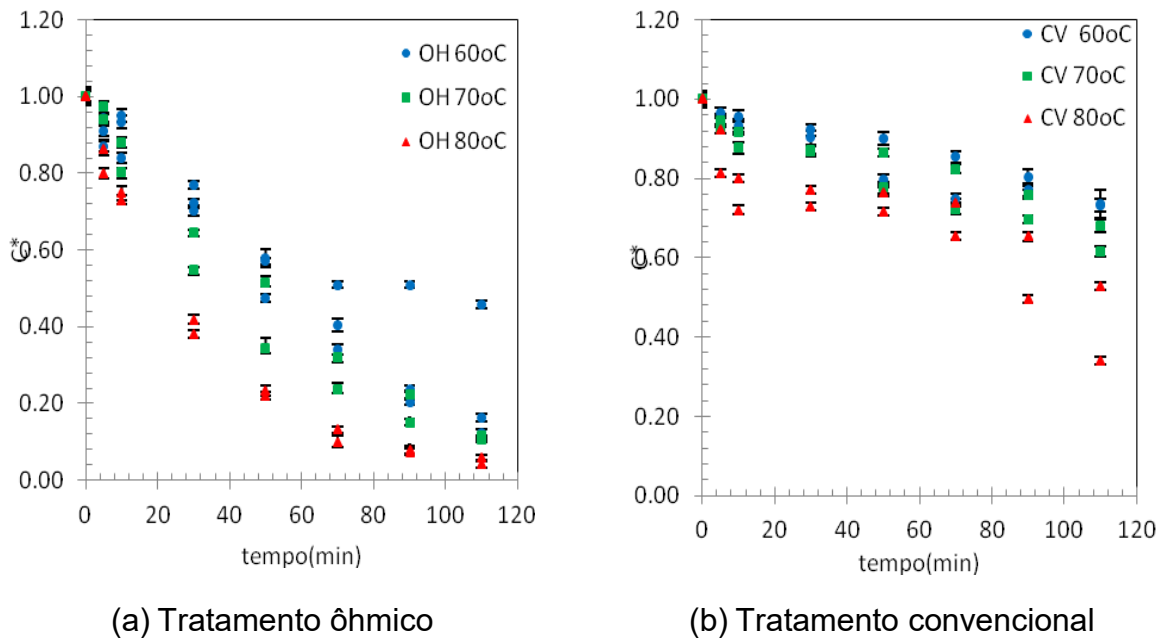
Em que η é a eficiência, m_{polpa} é a massa da polpa, $C_{p_{polpa}}$ é o calor específico da polpa à pressão constante, V é a tensão elétrica aplicada em ambos os tratamentos térmicos e I representa a corrente elétrica. Não foi escopo do presente trabalho medir as propriedades termofísicas da polpa de goiaba, assim foi utilizado na Eq. (24) o valor numérico do calor específico da goiaba disponível em Athmaselvi et al. (2014). Para os casos apresentados na Figura 11 e por meio da Eq. (22) obteve-se a eficiência térmica de 2,62% para o tratamento convencional e 40,93% para o tratamento ôhmico.

5.3 DEGRADAÇÃO DO ÁCIDO ASCÓRBICO

Neste tópico foram apresentados e discutidos os resultados referentes à degradação de ácido ascórbico na polpa de goiaba submetida ao aquecimento ôhmico e convencional nas temperaturas 60°, 70° e 80 °C pelo tempo de 110 minutos.

Nas Figuras 14 (a) e (b) observa-se que a temperatura e o tempo são fatores importantes para a degradação de ácido ascórbico durante o processamento térmico, tanto para o ôhmico quanto para o convencional. Para o tratamento ôhmico verificou-se que quanto maior a temperatura e o tempo de aquecimento maior foi a degradação de ácido ascórbico, o mesmo acontece para o tratamento convencional, contudo no aquecimento convencional a degradação de ácido ascórbico foi menor quando comparada com o tratamento ôhmico sob a mesma temperatura.

Figura 14 - Degradação do ácido ascórbico em polpa de goiaba sob tratamento ôhmico (a) e convencional (b).



Fonte: Autoria própria

A Figura 14 também indica que a temperatura exerceu influência significativa na degradação de ácido ascórbico durante o tempo de processamento térmico, utilizando tanto aquecimento ôhmico quanto o convencional. Além disso, a

degradação de ácido ascórbico após 110 minutos de processamento variou de 83,75 a 96% no método de aquecimento ôhmico e de 26,42 a 66,03% utilizando aquecimento convencional.

Uma possível explicação para os altos valores encontrados para a degradação de ácido ascórbico no aquecimento ôhmico pode ser devido também à alta concentração inicial de oxigênio dissolvido na polpa de goiaba durante os tratamentos térmicos realizados e a formação de bolhas ao redor dos eletrodos no aquecimento ôhmico. Zhao et al. (1999) relatam que as bolhas também podem ser resultantes de várias reações de oxidação e redução ou da ebulição da água. O oxigênio é o reagente limitante da reação de degradação aeróbica, pois na presença de oxigênio dissolvido no meio reacional, a degradação é causada principalmente pela oxidação sendo uma degradação mais rápida. Contudo, quando todo o oxigênio é completamente consumido, passa a ocorrer a degradação anaeróbia, que por sua vez é mais lenta (OEY et al., 2006).

Mercali et al. (2012) em um estudo comparativo entre aquecimento convencional e o aquecimento ôhmico em que avaliaram os efeitos da voltagem sobre a degradação de ácido ascórbico em polpa de acerola concluíram que o aquecimento ôhmico, quando realizado com gradientes de baixa voltagem, promoveu degradação do ácido ascórbico de maneira semelhante ao aquecimento convencional. No entanto, gradientes de alta voltagem induziram maior degradação do ácido ascórbico devido a reações eletroquímicas. Em outro estudo de Mercali et al. (2014) no qual foi avaliado o efeito da frequência do campo elétrico (10 a 10.000 Hz) na degradação de ácido ascórbico em polpa de acerola, verificou-se que a degradação de ácido ascórbico foi maior na frequência de 10 Hz, quando ocorreu o aumento da frequência para 10.000 Hz os resultados ficaram próximos ao do aquecimento convencional.

Lima et al. (2010) analisaram o efeito da temperatura na degradação de ácido ascórbico e na mudança de cor em suco de caju e observaram uma degradação menor do que a esperada com o aumento da temperatura. Testes realizados a 100 °C durante 120 minutos demonstraram uma degradação de ácido ascórbico de 30% sob tratamento térmico convencional.

Demirdöven e Baysal (2014) em seu estudo com suco de laranja enfatizaram que a degradação do ácido ascórbico na amostra que sofreu processamento térmico por aquecimento ôhmico sobre 42 V cm⁻¹ sob a temperatura de 69 °C por 35

segundos foi menor do que pelo tratamento convencional. Os autores concluíram que o tempo de processamento térmico e a voltagem empregada influenciaram de forma significativa na degradação de ácido ascórbico.

De acordo com Zhao et al. (1999), a formação de reações eletrolíticas contribui para a geração de bolhas que podem resultar na formação de novos subprodutos decorrentes de várias reações de oxidação e redução como: O₂ e H₂. Entretanto, os autores relatam que quando faz-se o uso de eletrodos considerados inertes estas reações são minimizadas.

Mercali et al. (2011) em estudo com polpa de acerola afirma que as bolhas podem ser formadas em decorrência da dissociação de ácidos fracos presentes na polpa. Palaniappan e Sastry (1991) relataram que os sucos são ácidos resultando em uma potencial formação de bolhas de hidrogênio por eletrólise.

Contudo, no trabalho em questão a degradação do ácido ascórbico pode ocorrer por meio de vias aeróbicas e/ ou anaeróbicas, sendo dependente de uma série de variáveis como pH, acidez, íons metálicos, luz, umidade, atividade de água, temperatura, presença de aminoácidos, carboidratos, lipídios e enzimas, entre outros (MERCALI, et al. 2012, LOUARME; BILLAUD, 2012). Um delineamento completo e detalhado de todos estes possíveis fatores está além do escopo deste trabalho, no entanto, é possível discutir algumas potenciais justificativas que influenciaram na maior degradação do ácido ascórbico quanto ao tratamento ôhmico. Uma hipótese que merece destaque foi o uso de baixa frequência do campo elétrico não maior 60 Hz, segundo Odriozola-Serrano (2008) e Sarkis (2011), as taxas de degradação mais altas de ácido ascórbico em frequências mais baixas podem ser explicadas pela ocorrência de reações de eletrólise da água. A eletrólise da água libera hidrogênio no cátodo e oxigênio no ânodo, uma vez que a tensão é alternada, ambos os produtos podem ser liberados em cada eletrodo. O oxigênio molecular gerado pela eletrólise da água causa oxidação adicional do ácido ascórbico (EISON-PERCHONOK; DOWNES, 1982). Outro fator que por ter contribuído, mas em menor intensidade, uma vez que foi utilizado eletrodos de platina, é a liberação de íons metálicos dos eletrodos que também catalisam o processo de oxidação do ácido ascórbico. Outra justificativa plausível é que pode ter ocorrido uma elevação sensível de pH, a polpa de goiaba é ácida, pH aproximadamente de 3,4, o ácido ascórbico é mais estável a meios com baixo pH. Segundo Assiry et al. (2003) o campo elétrico do tratamento pode favorecer a

elevação do pH, os autores avaliaram a degradação do ácido ascórbico em soluções tampão com pH inicial de 3,5 e obtiveram um aumento de pH de até 5,85.

Segundo Salari e Jarifi (2020), faltam informações na literatura sobre o efeito do aquecimento ôhmico na degradação de AA e de outras vitaminas, pois ainda não foi estudado de forma correta a degradação sobre as mesmas condições. Por isto, qualquer decisão na escolha de qual seria o melhor tratamento térmico a empregar seria de forma precipitada.

Comparando com o trabalho de Mercali et al. (2012), verificou-se que os mesmos utilizaram uma forma aquecimento convencional até atingir temperatura próxima de 85° C onde sua elevação pelo aquecimento ôhmico é apenas 10 °C, não podendo usar como comparativo com o estudo proposto o qual utilizou se apenas o aquecimento ôhmico para atingir as temperaturas estudadas.

É importante também comentar que não há entre as pesquisas que utilizaram a tecnologia ôhmica uma uniformidade na promoção do aquecimento como verificado a seguir pois, alguns trabalhos a temperatura é controlada variando-se o campo elétrico (CASTRO, et al. 2004; VIKRAN, et al. 2005), outros mantendo o campo elétrico constante e controlando a temperatura por meio de fluido refrigerante em circuito encamisado (MERCALI, et al. 2015) e outros que promovem a maior parte do aquecimento por meio de um fluido quente, isto é convencional e a elevação de 5 a 10 graus aplicando um campo elétrico, ou seja, apesar de ser classificado como ôhmico não é o campo elétrico o responsável pela maior elevação de temperatura (MERCALI, et al. 2012; BROCHIER, et al. 2018). Neste cenário, a profusão entre as formas de aquecimento ôhmico dificulta uma avaliação comparativa fiel entre os estudos com o trabalho proposto já que as metodologias utilizadas no aquecimento ôhmico não possuem um consenso na literatura.

A fim de investigar o comportamento cinético da degradação do ácido ascórbico promovido pelos tratamentos térmicos, os modelos cinéticos dados pelas Equações 10 a 13, foram ajustados aos dados experimentais. As Tabelas 3 a 6 sumarizam os resultados da qualidade de ajuste obtida de cada modelo cinético, nestas tabelas são indicados os valores de R^2 , $R^2_{\text{máx}}$, χ^2 , Critério de Informação de Akaike (AIB) e o Critério Bayesiano de Schwarz (BIC).

Para facilitar a interpretação dos dados, optou-se por apresentar as tabelas para um determinado modelo cinético para as três temperaturas testadas para o

aquecimento ôhmico seguido pela tabela respectiva do tratamento térmico convencional.

Neste momento, se faz importante comentar que segundo Neto et al. (2007), que qualquer que seja o modelo escolhido, o mesmo não poderá passar ao mesmo tempo por dois valores da variável dependente. Fatalmente haverá resíduos, que pode-se atribuir, pelo menos em parte, aos erros aleatórios. Assim, o coeficiente de correlação R^2 , sempre será menor que a unidade (100%). Desta forma o coeficiente de correlação deve ser comparado à porcentagem máxima de variação explicável $R^{2\text{máx}}$.

Tabela 3- Cinética de degradação do ácido ascórbico de Ordem Zero.

Tratamento	T °C	Aquecimento ôhmico					
		K (min ⁻¹)	$R^{2\text{máx}}$	R^2	χ^2	AIC	BIC
Ôhmico	60	0,007590±0,000332	0,9195	0,890	0,0100	46,360	47,51
	70	0,009220±0,000398	0,9956	0,923	0,0090	31,542	32,315
	80	0,010813±0,000709	0,9981	0,754	0,0326	31,895	32,668
Convencional	60	0,002560±0,000148	0,9192	0,862	0,0010	31,425	32,197
	70	0,003255±0,000194	0,9011	0,838	0,0020	31,438	32,210
	80	0,005079±0,000438	0,8559	0,640	0,0110	31,571	31,343

Fonte: Autoria própria

Tabela 4: Aquecimento ôhmico e convencional cinética de degradação do ácido ascórbico de primeira ordem.

Tratamento	T °C	Aquecimento Ôhmico					
		K (min ⁻¹)	$R^{2\text{máx}}$	R^2	χ^2	AIC	BIC
Ôhmico	60	0,012278±0,000796	0,9195	0,914	0,0073	46,277	47,550
	70	0,017855±0,000822	0,9956	0,980	0,0024	31,442	32,215
	80	0,030259±0,000666	0,9981	0,997	0,0004	31,412	32,185
Convencional	60	0,003327±0,000222	0,9192	0,876	0,0010	31,423	32,195
	70	0,003859±0,000257	0,9011	0,855	0,0019	31,435	32,207
	80	0,006789±0,000749	0,8559	0,670	0,0101	31,557	32,320

Fonte: Autoria própria

Tabela 5: Aquecimento ôhmico e convencional cinética de degradação do ácido ascórbico de segunda ordem.

Tratamento	T °C	K (min ⁻¹)	Aquecimento Ôhmico			AIC	BIC
			R ^{2máx}	R ²	χ ²		
Ôhmico	60	0,018621±0,001939	0,9195	0,880	0,0100	46,340	47,510
	70	0,030013±0,00349	0,9956	0,935	0,0076	31,521	32,293
	80	0,057387±0,00622	0,9981	0,960	0,0053	31,485	32,258
Convencional	60	0,003327±0,000222	0,9192	0,886	0,0010	31,422	32,194
	70	0,004572±0,000340	0,9011	0,865	0,0020	31,433	32,205
	80	0,006911±0,001222	0,8559	0,690	0,0090	31,548	32,330

Fonte: Autoria própria

Tabela 6: Aquecimento ôhmico e convencional cinética de degradação do ácido ascórbico de Weibull.

Tratamento	T °C	K / α	Aquecimento Ôhmico			AIC	BIC
			R ^{2máx}	R ²	χ ²		
Ôhmico	60	0,008602±0,004948 1,084801±0,0135764	0,9195	0,920	0,0100	48,270	50,630
	70	0,011647±0,0039030 1,105966±0,0821700	0,9956	0,982	0,0030	33,442	34,987
	80	0,035653±0,0035653 0,954297±0,0262330	0,9981	0,997	0,0004	33,411	34,956
Convencional	60	0,008602±0,004471 0,753679±0,011969	0,9192	0,898	0,0010	33,420	34,965
	70	0,015395±0,007195 0,682604±0,108494	0,9011	0,892	0,0015	33,428	34,973
	80	0,053460±0,028490 0,519399±0,127948	0,8559	0,769	0,0076	33,512	35,057

Fonte: Autoria própria

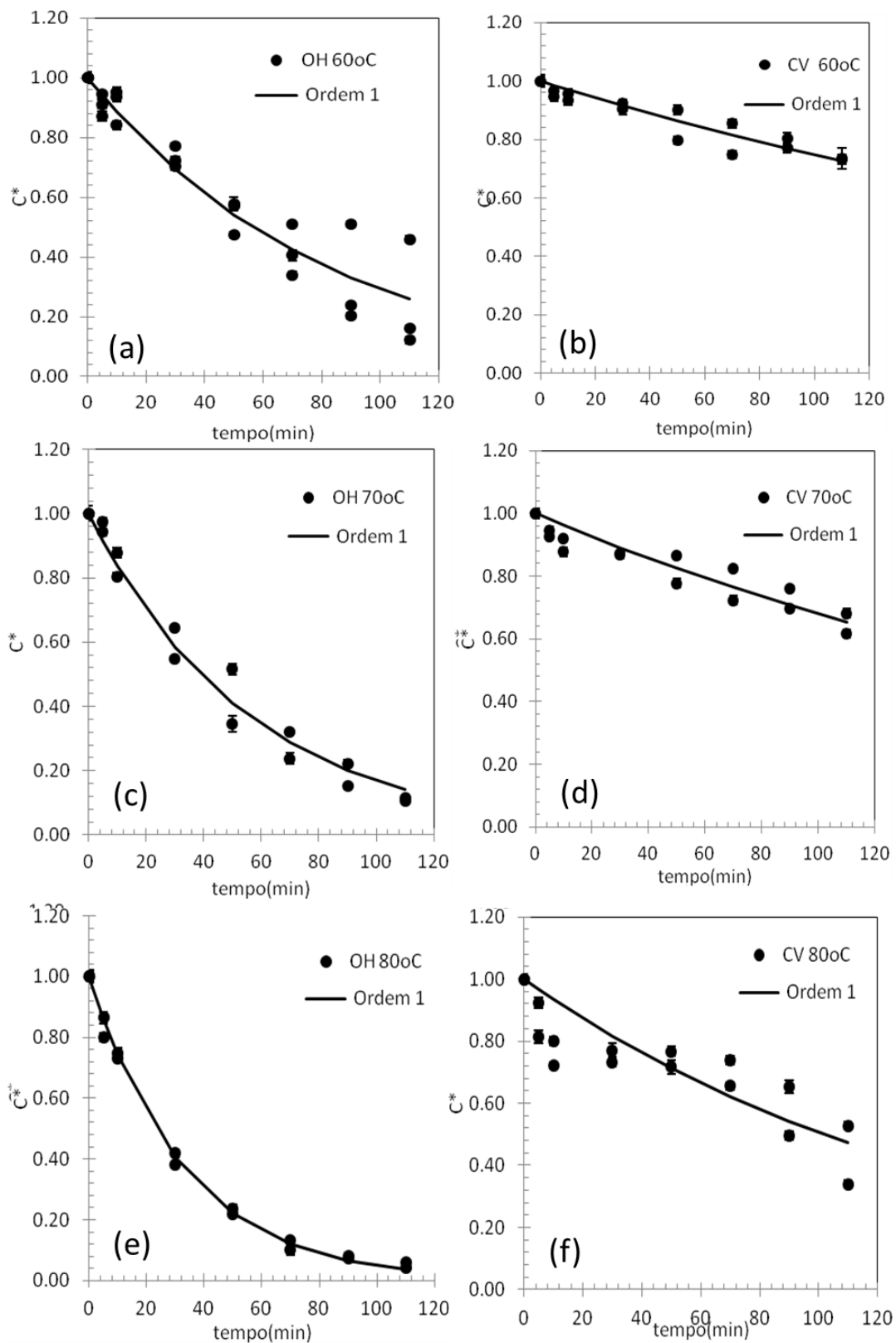
Os dados das Tabelas 3 a 6 indicam que os modelos matemáticos de ordem zero e de segunda ordem foram os dois modelos que pior se ajustaram aos dados experimentais, uma vez que estes apresentaram menores valores do coeficiente de correlação e maiores valores de χ^2 , AIC e BIC, assim estes dois modelos matemáticos foram rejeitados. Tanto o modelo de primeira ordem como o modelo Weibull tiveram bons ajustes, apresentando razoavelmente valores próximos para χ^2 , AIC e BIC. Assim, no presente trabalho o modelo de primeira ordem foi escolhido para ajustar os resultados para as duas formas de tratamento térmico, tanto para o aquecimento ôhmico quanto para o aquecimento convencional, devido à sua simplicidade matemática e também, apresenta-se como o modelo mais parcimonioso que o modelo de Weibull, isto é, o modelo envolve menor número de parâmetros a

serem estimados e explicou bem o comportamento da variável resposta. Além disso, ainda pode-se ressaltar que para a maioria dos casos, α se aproximou de 1, onde o modelo cinético de Weibull se reduz a uma cinética de primeira ordem.

Uma análise de variância (ANOVA) na versão apresentada por NETO (2001) foi realizada para os dois melhores modelos, primeira ordem e Weibull, a mesma é sumarizada no apêndice A. A referida análise mostra que o modelo de Weibull que introduz um parâmetro a mais ao modelo de primeira ordem, não proveu uma melhoria numérica. A razão F_{QMFAj}/Q_{MExp} , provida pelo modelo cinético de primeira ordem foi sempre inferior ao obtido com o modelo de Weibull, evidenciando que não há sinais de falta de ajuste para o modelo de primeira ordem que justifique a adição de mais um parâmetro ajustável.

A Figura 15 (a a f) estabelece uma comparação gráfica entre os dados experimentais e o ajuste provido pelo modelo de primeira ordem para as três temperaturas testadas para ambos os tratamentos térmicos. Mercarli et al. (2012) em um estudo comparativo entre aquecimento convencional e o aquecimento ôhmico também verificou que nas duas formas de tratamento térmico o modelo cinético que melhor se ajustou a degradação de ácido ascórbico em polpa de acerola foi o de primeira ordem.

Figura 15 - Cinética de degradação de ácido ascórbico sobre aquecimento ôhmico (a, c, e) por 110 minutos e cinética de degradação de ácido ascórbico sobre aquecimento convencional (b, d, f) por 110 minutos



Fonte: Autoria própria

Os modelos de primeira ordem têm sido amplamente utilizados para descrever a degradação de nutrientes (HARBOURNE, et al. 2008). Alighourchi e Barzegar (2009) e também empregaram para avaliar degradação da antocianina durante o armazenamento de suco de romã. Este modelo também tem sido amplamente aplicado para diferentes produtos como: suco de amora concentrado (WANG E XU, 2007) e suco de morango (GARZON; WROLSTAD, 2002). O modelo Weibull também foi empregado para descrever a cinética de degradação química em produtos a base de frutas (MANSO et al. 2001; AHMED et al. 2002; AHMED; SHIVHARE; RAGHAVAN, 2000; AHMED; SHIVHARE; SINGH, 2000; GUNAWAN; BARRINGER, 2000; HUTCHINGS, 1994; SHIN; BHOWMIK, 1994; STEET; TONG, 1996).

A Tabela 7 mostra os parâmetros do modelo de primeira ordem obtido para cada temperatura e tecnologia avaliada, os valores de k para o tratamento ôhmico variaram de $12,278 \times 10^{-3}$ a $30,259 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ e para o convencional $3,327 \times 10^{-3}$ a $6,788 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. Valores semelhantes de k foram encontrados por Sarkis et al., (2019) usando modelo de primeira ordem para ajustar os dados para degradação de antocianinas em polpa de blackberry para o tratamento convencional. VIKRAN et al. (2005), obtiveram a mesma ordem de grandeza para K , de $24 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ a $97,1 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$, para o intervalo de temperatura de *setpoint* de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ a $75 \text{ }^\circ\text{C}$ no estudo de degradação do ácido ascórbico de suco de laranja submetido ao tratamento térmico ôhmico.

A taxa de degradação, k , foi significativamente menor para os casos realizados a temperatura mais baixa, $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Quando $80 \text{ }^\circ\text{C}$ foi aplicado, houve um significativo aumento no valor de k para ambos os tratamentos térmicos ($p < 0.05$). Para a mesma temperatura, houve diferença significativa entre as amostras processadas, a taxa de degradação provida pelo aquecimento ôhmico é uma ordem de grandeza superior ao do aquecimento convencional. Ainda para a redução do ácido ascórbico, Mercali et al. (2014) utilizando a tecnologia ôhmica obtiveram valores de K entre $1,1 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ e $1,6 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ e para o tratamento térmico convencional de $1,2 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$, ou seja, a taxa de degradação para os dois tratamentos térmicos não foi significativamente diferente ($p < 0,05$). Contudo é importante citar que o campo elétrico, utilizado pelos últimos autores citados, operou em frequências de 100 Hz a 100 KHz e que o experimento cinético foi conduzido a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ por duas horas, em que o aquecimento denominado como ôhmico, pelos

autores, foi realizado usando 30 V e água a 75 °C em um sistema encamisado, simultaneamente, ou seja, a maior parcela responsável pelo aquecimento das amostras foi realizado por meio convencional e sendo o campo elétrico responsável pela elevação de apenas 10 °C .

Tabela 7 - Parâmetros do modelo de primeira ordem para degradação de ácido ascórbico na polpa de goiaba durante o tratamento térmico ôhmico e convencional

Processo	T (°C)	k	10 ⁻³ (min ⁻¹)	D (min)	t _{1/2} (min)
Ôhmico	60	12,278	± 0,796 ^a	187,5	56,4
	70	17,855	± 0,822 ^b	129,0	38,8
	80	30,259	± 0,066 ^c	76,1	22,9
Convencional	60	3,327	± 0,022 ^d	692,1	208,4
	70	3,860	± 0,025 ^d	596,6	179,6
	80	6,788	± 0,074 ^e	339,2	102,1

Resultados são os valores médios de dois experimentos independentes (média ± erro padrão); médias na mesma coluna com letras minúsculas diferentes são significativamente diferentes (p <0,05).

Fonte: Autoria própria

O tempo de redução decimal (D) e o tempo de meia vida (t_{1/2}) para cada caso são mostrados na Tabela 7 e esses valores representam o tempo necessário para degradar 90 e 50% do ácido ascórbico, respectivamente. Os valores D variaram de 187,54 a 76,1 min para o aquecimento ôhmico e de 692,1 a 339,2 min para o aquecimento convencional. O tempo de meia vida situou-se entre 56,46 e 22,9 min para o tratamento ôhmico e 208,4 e 102,1 min para o tratamento convencional. No geral, ambos os parâmetros diminuíram conforme as temperaturas dos processos aumentaram, o que estava de acordo com o maior valor de k desses processos.

A Tabela 8 remete aos ajustes dos dados do aquecimento ôhmico e convencional, segundo a equação de Arrhenius, em que o R² obtido foi de 0,9905 para a primeira tecnologia e 0,9317 para a segunda.

No presente estudo, a energia de ativação no aquecimento ôhmico foi de 46,72 kJ/mol e para o convencional 40,28 kJ/mol ficando próximo aos valores encontrados por Sarkis, et al. (2019) em comparação entre a tecnologia ôhmica e convencional em polpa de blackberry. Segundo Lima, et al. (1999) em seu estudo com degradação de ácido ascórbico em suco de laranja nas temperaturas de 65 a 80°C a energia de ativação (E_a) foi de 52,3 kJ mol⁻¹ sob o aquecimento ôhmico. Vikram, et al. (2005) também ressalta em seu estudo sobre degradação térmica de

ácido ascórbico em suco de laranja sob aquecimento ôhmico nas temperaturas de 50 a 90 °C por até 15 minutos o valor encontrado para a E_a foi de 47,3 kJ/mol e para o convencional 39,84 kJ/mol. Se faz importante também comentar que os valores citados foram próximos, o que indica que existe uma dependência da temperatura da reação, pois foi semelhante para ambas as tecnologias de aquecimento.

Tabela 8 - Parâmetros da equação de Arrhenius obtidos para a degradação de ácido ascórbico para o aquecimento ôhmico e convencional

Tratamento	T °C	E_a (kJ/ mol)	k (1/ min)	ΔH (kJ/ mol)	ΔG (kJ/mol)	ΔS (kJ/ mol K)
Ôhmico	60	46,72±5,06	0,0123	43,95	61,91	-0,054
	70		0,0179	43,87	62,61	-0,055
	80		0,0303	43,78	62,81	-0,054
Convencional	60	40,28±11,5	0,0033	37,51	65,53	-0,084
	70		0,0039	37,43	66,98	-0,086
	80		0,0068	37,35	67,19	-0,085

Fonte: Autoria própria

Vikram et al. (2005) analisaram a retenção e a degradação de ácido ascórbico durante o aquecimento eletromagnético em processo como infravermelho, ôhmico e micro-ondas, em comparação com o convencional e concluíram que o aquecimento ôhmico possuiu uma maior energia de ativação devido às propriedades dielétricas elevadas do suco e à geração de calor instantânea da corrente pela passagem de corrente elétrica.

ΔH é a diferença entre a entalpia do estado de transição e a soma das entalpias dos reagentes no estado fundamental. Conforme mostrado na Tabela 8 os valores foram semelhantes para todas as temperaturas, variando entre 43,95 a 43,78 kJ mol⁻¹ para o aquecimento ôhmico e de 37,51 a 37,35 kJ mol⁻¹ para o tratamento convencional. Ambos os parâmetros são frequentemente usados na literatura para definir a barreira de ativação de uma reação. Cisse et al. (2009) relataram valores mais baixos de ΔH (34,48 kJ mol⁻¹) para degradação de antocianina de polpa de amora-preta sob aquecimento usando temperaturas variando de 30 a 100 °C sendo valores próximos aos encontrados no tratamento térmico convencional. Vikram et al. (2005) obtiveram para o suco de laranja, em relação a degradação do ácido ascórbico, ΔH igual a 44,35 kJ mol⁻¹ e 37,03 kJ mol⁻¹ para o tratamento ôhmico e convencional, respectivamente.

ΔG é considerada a força motriz de uma reação química e determina a espontaneidade da reação. No presente estudo apresentou valores muito próximos para todas as condições avaliadas ($61,91 - 62,81 \text{ kJ mol}^{-1}$) para aquecimento ôhmico e ($65,53 - 67,19 \text{ kJ mol}^{-1}$) para o aquecimento convencional. O sinal positivo significa que a degradação do ácido ascórbico é uma reação não espontânea.

ΔS apresentou valores negativos, variando de $-0,054$ a $-0,055 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para o tratamento ôhmico e $-0,084$ a $-0,086 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para o tratamento convencional. Este parâmetro fornece a diferença entre a entropia do estado de transição e a soma das entropias dos reagentes. Os valores negativos indicam que o complexo ativado no estado de transição tem uma estrutura mais ordenada ou mais rígida do que os reagentes no estado fundamental. A Tabela 8 mostra que ΔS foi semelhante para ambas as tecnologias de aquecimento em todas as temperaturas, o que indica reatividade e tempos de reação semelhantes.

5.4 CAROTENOIDES

A fim de mitigar a influência dos tratamentos térmicos ôhmico e convencional sobre os carotenoides presentes na polpa de goiaba foram realizados a determinação do mesmo no início do processo e ao longo do tempo de 110 minutos sob três temperaturas conforme a Tabela 9.

Tabela 9- Retenção de carotenoides em polpa de goiaba submetida ao tratamento ôhmico e convencional

Temperatura (°C)	Retenção de Carotenoides (%)	
	Convencional	Ôhmico
60	110,00 ± 10,00	123,77 ± 10,34
70	89,02 ± 27,73	100,49 ± 33,72
80	64,25 ± 4,93	79,23 ± 11,25

Fonte: Autoria própria

Com relação aos carotenoides presentes na polpa de goiaba, observou-se que com o aumento da temperatura houve redução na retenção de carotenoides. Chanforan et. al. (2012) não observaram degradação significativa para o licopeno e β -caroteno após aquecimento a $96 \text{ }^\circ\text{C}$ por 120 min no molho de tomate. No trabalho de Achir et al. (2016) também não foi observada a degradação de carotenoides para

os tratamentos térmicos convencional e ôhmico para o suco de toranja para temperaturas de 80 °C e 95 °C.

De acordo com Boileau et al. (2002) o processamento térmico de alimentos pode aumentar a biodisponibilidade do licopeno que é uma das formas dos carotenoides devido à liberação da matriz do alimento. É de suma importância considerar que os carotenoides presentes nas frutas estão armazenados e ligados a proteínas e lipídeos em estruturas organizadas como membranas e vesículas. Essa afirmação pode justificar o maior valor de retenção de carotenoides observado na temperatura de 60 °C.

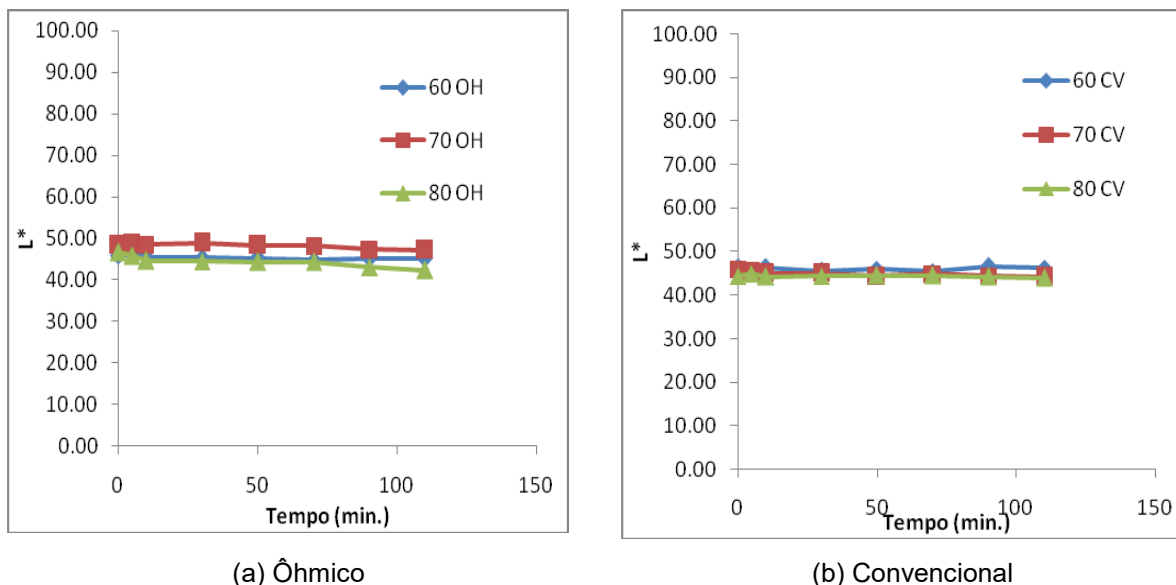
De acordo com Sales e Waughon (2013), em estudo sobre a influência do processamento no teor de compostos bioativos em frutos de murici e cajá, a aplicação de tratamento térmico a 70 °C por até 300 segundos causou a diminuição da quantidade de carotenoides totais na polpa de cajá. Porém, a 80 °C houve aumento na quantidade de carotenoides após o aquecimento, podendo estar associado a liberação desses compostos devido a quebra da ligação caroteno-proteína e rompimento de matriz alimentar. Contudo, sob condições mais elevada (90 °C) ocorreu a degradação de alguns pigmentos e conseqüentemente a redução do teor de carotenoides totais.

5.5 COR

A análise da variação de cor consiste em uma forma prática e rápida de monitorar indiretamente as alterações que os tratamentos térmicos podem causar nos pigmentos, como por exemplo os carotenoides. Os resultados dos parâmetros L^* , a^* e b^* foram normalizados em relação aos valores observados no instante inicial ($t = 0$) dos tratamentos.

O parâmetro de cor L^* está relacionado com a luminosidade das amostras, sendo que essa propriedade varia de 0 (negro absoluto) a 100 (branco absoluto) (WU e SUN, 2013). De acordo com os dados disponíveis nas figuras 16 a e b, é possível verificar que o parâmetro L^* não foi afetado pelo tempo de tratamento térmico da polpa de goiaba, independente do processamento térmico aplicado.

Figura 16– Parâmetro de cor L* em polpa de goiaba sob tratamento ôhmico (a) e convencional (b).

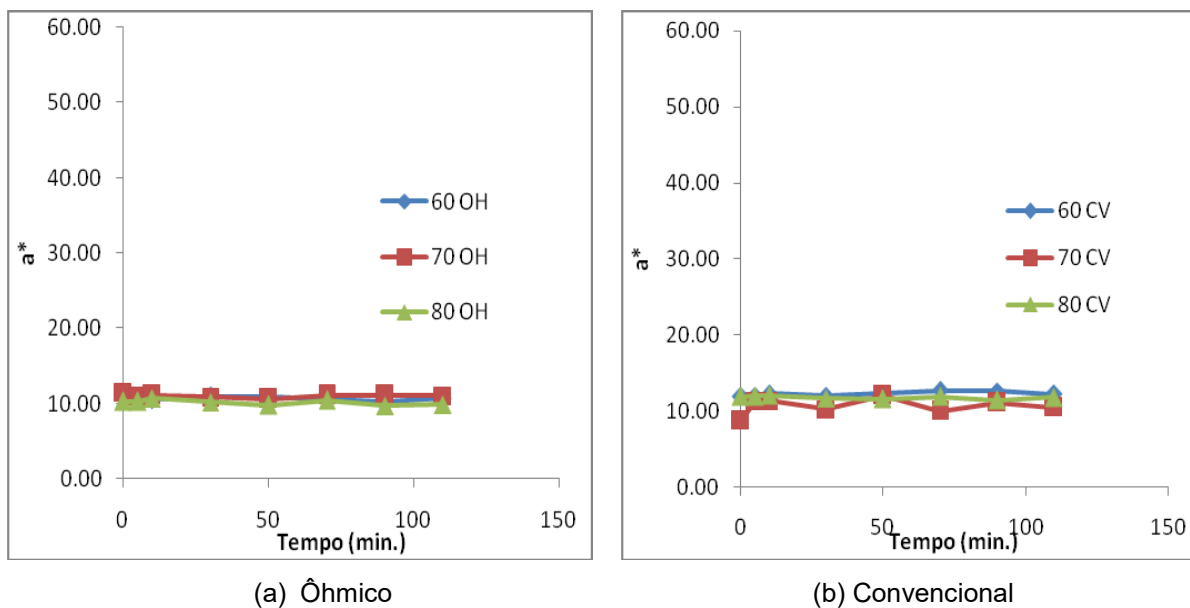


Fonte: Autoria própria

Resultado diferente foi verificado por Mercali et al. (2016) no estudo do tratamento térmico convencional e ôhmico aplicado em polpa de acerola, que observou um decréscimo do parâmetro L* ao longo dos processos estudados. Os autores conferiram essa variação ao escurecimento não-enzimático e degradação do ácido ascórbico (MERCALI et al., 2014). Dutta et al. (2006) observaram um decréscimo mais acentuado do valor de L* quando purê de abóbora foi tratado termicamente em diferentes condições de temperatura e tempo. Os autores elucidam que isto pode ter ocorrido devido à degradação de pigmentos termolábeis, resultando na formação de compostos escuros que reduzem a luminosidade.

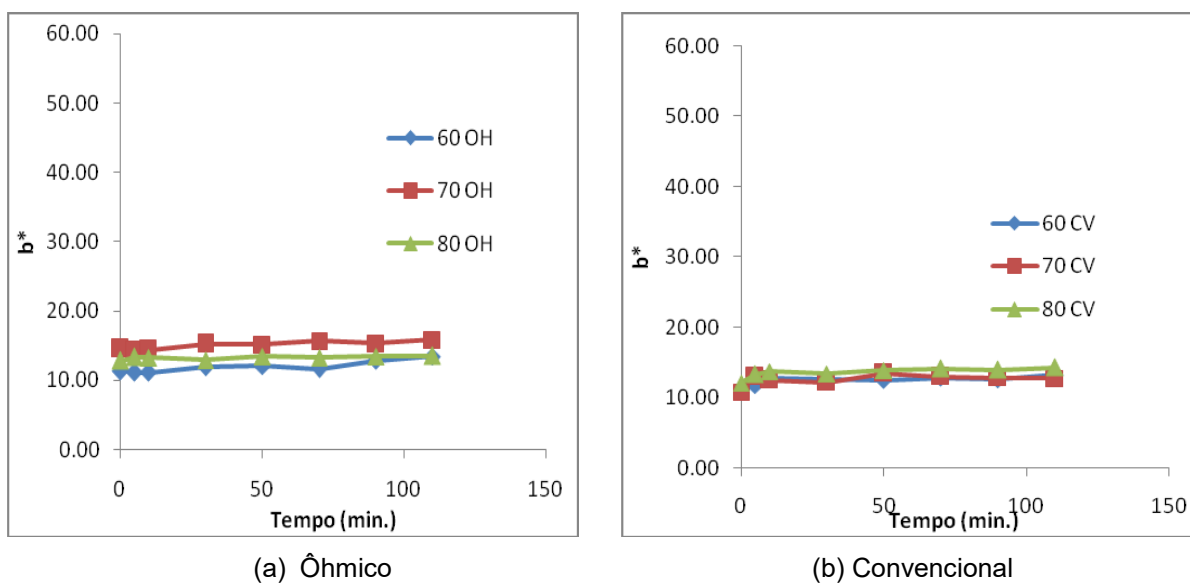
Sant'Anna et al. (2013) relata que existe uma alta correlação entre o teor de carotenoides e as coordenadas de cor, portanto, a análise dos parâmetros de cor a* e b* pode fornecer informações importantes a respeito do grau de degradação desses compostos em função das condições do tratamento térmico. Conforme pode ser observado nas Figuras 17 a e b, o parâmetro de cor a* sofreu uma discreta variação a 70 °C no aquecimento convencional. Entretanto, o parâmetro b* não foi afetado após a aplicação dos tratamentos. Portanto, de modo geral, pode-se concluir que durante o tratamento térmico convencional e ôhmico, a polpa de goiaba não sofreu alteração de cor significativa. Isto pode estar relacionado a pouca variação do teor de carotenoides, conforme apresentado anteriormente.

Figura 17- Parâmetro de cor a^* em polpa de goiaba sob tratamento ôhmico (a) e convencional (b).



Fonte: Autoria própria

Figura 18 – Parâmetro de cor b^* em polpa de goiaba sob tratamento ôhmico (a) e convencional (b).



Fonte: Autoria própria

Diferente do observado no presente trabalho, alguns alimentos a base de frutas sofrem alteração significativa de cor em razão do tratamento térmico. Mercali et al. (2014), em estudo sobre tratamento ôhmico aplicado em polpa de acerola, observaram uma redução no parâmetro a^* (cor vermelha), que foi atribuída à

degradação da antocianina. Sabanci e Icier (2019) relataram mudanças significativas nos parâmetros L^* , a^* e b^* do suco de cereja azeda após concentração por evaporação a vácuo convencional e ôhmico em um gradiente de voltagem de 10 V / cm. As razões por trás da mudança de cor foram atribuídas à degradação da antocianina monomérica e à formação da cor marrom durante os métodos de processamento térmico. Brochier et al. (2018) em estudo com caldo de cana tratado sob aquecimento ôhmico também observaram alteração nos parâmetros de cor e foi associado a reação de Maillard e reações de escurecimento enzimático.

De acordo com a Tabela 10, os parâmetros de cor de polpa de goiaba submetida ao tratamento térmico convencional e ôhmico ΔE , C^* e h° não possuíram diferença significativa ($p > 0,05$), a não ser quando utilizou-se o tratamento ôhmico a 80 °C para o parâmetro ΔE . A não alteração de cor pelos métodos ôhmicos e convencional pode ser decorrente da frequência que foi utilizada no estudo, podendo ter contribuído para não degradação significativa dos carotenoides fazendo com que não ocorresse mudança significativa de cor. Brochier et al. (2018) coloca que uma possível explicação para achados contraditórios sobre a cor em diferentes estudos é a diferença nos gradientes de voltagem, formas de onda e compostos com diferentes atividades, levando a diferentes mudanças de cor durante o aquecimento ôhmico de diferentes matrizes alimentares.

Tabela 10– Parâmetros de cor de polpa de goiaba submetida ao tratamento térmico convencional e ôhmico

Tratamento	ΔE	C^*	h°
CV 60 °C	2,20 ± 0,18 ^a	18,06 ± 0,35 ^a	0,82 ± 0,08 ^a
OH 60 °C	2,51 ± 0,46 ^a	17,19 ± 0,16 ^a	0,90 ± 0,04 ^a
CV 70 °C	3,30 ± 1,16 ^{ab}	16,56 ± 1,44 ^a	0,88 ± 0,05 ^a
OH 70 °C	2,06 ± 1,16 ^a	19,33 ± 1,97 ^a	0,96 ± 0,09 ^a
CV 80 °C	2,75 ± 1,11 ^a	18,54 ± 0,28 ^a	0,88 ± 0,03 ^a
OH 80 °C	6,65 ± 2,07 ^b	16,71 ± 0,66 ^a	0,94 ± 0,02 ^a

^{a,b} Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria

5.6 AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE AQUECIMENTO FRENTE AO VALOR DE PASTEURIZAÇÃO

Como mostra as figuras 11 (a) e (b) a dinâmica de aquecimento dos dois processos térmicos explorados são significativamente diferentes, assim para realizar uma comparação entre os dois modos de aquecimento, optou-se em utilizar o conceito de tempo equivalente a uma temperatura de referência. Segundo Peng et al. (2017), este conceito é usado para refletir o efeito cumulativo de processos térmicos industriais. Os processos de pasteurização são projetados para garantir que o efeito letal acumulado de um produto ou substância exceda um tempo mínimo em uma temperatura de referência.

No presente trabalho definiu-se para os casos em que a temperatura de setpoint foi de 70 e 80 °C o valor de pasteurização $P = 50$ e 100 minutos, com temperatura de referência de 70 °C e z de 10 °C. Estes valores foram utilizados de acordo com os propostos por Tucker e Featherstone (2011) e Achir et al. (2016). O valor de z de 10 °C foi escolhido pois está na faixa de 8 a 11 °C onde ocorre a mortalidade de micro-organismos em produtos de frutas ácidas. (SILVA; GIBBS, 2004). Para os casos em que a temperatura de setpoint foi de 60 °C usou-se $P = 10$ minutos, pois neste caso em específico a temperatura de *setpoint* é menor que temperatura de referência.

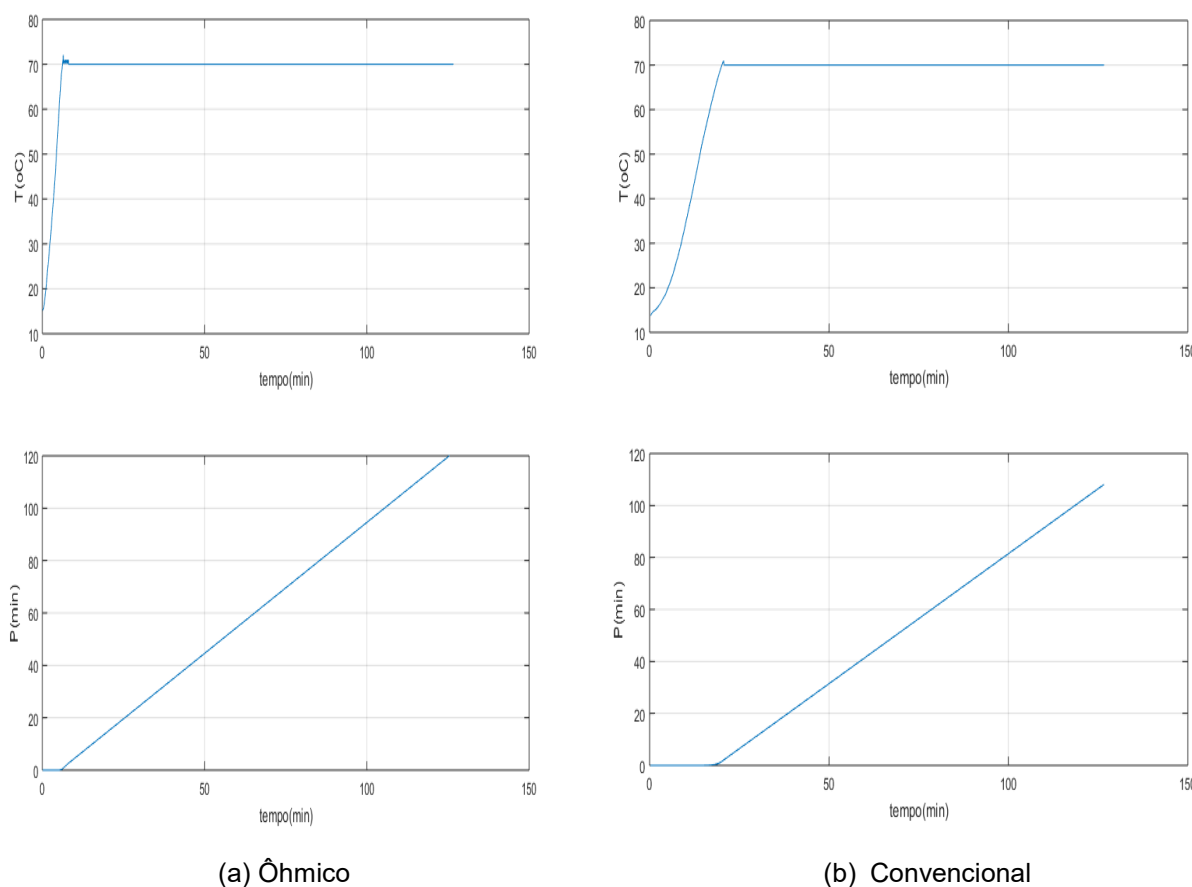
Os tempos necessários para obter os valores de pasteurização mencionados para os respectivos casos, estão sumarizados na Tabela 11 e na Figura 18 são apresentados o caso para a temperatura de setpoint de 70 °C para melhor entendimento do modo de obtenção dos valores de pasteurização. Na Figura 19 observa-se que os valores de $P = 50$ e 100 minutos são atingidos mais rápido no aquecimento ôhmico do que no convencional. O mesmo comentário pode ser feito para a Figura 12 (a) e (b), uma vez que a elevação de temperatura no modo de aquecimento ôhmico é significativamente mais rápida do que no convencional.

Tabela 11- Tempo necessário para atingir o valor de pasteurização.

Convencional	P (min.)	Tempo (min.)	Ôhmico	P (min.)	Tempo (min.)
60 CV	10	103,59	60 OH	10	86,00
70 CV	50	68,07	70 OH	50	54,99
70 CV	100	117,58	70 OH	100	98,25
80 CV	50	47,37	80 OH	50	10,87
80 CV	100	52,33	80 OH	100	14,84

Fonte: Autoria própria

Figura 19 – Temperatura de setpoint para a temperatura de 70 °C para a obtenção dos valores de pasteurização.



Fonte: Autoria própria

Para evitar uma conclusão prematura da influência das tecnologias térmicas aplicadas, optou-se em avaliar os valores de ácido ascórbico, carotenoides e cor utilizando o índice de pasteurização como referência, a fim de ponderar o efeito das dinâmicas de aquecimento entre as duas tecnologias aplicadas, uma vez que, como

já demonstrado o mesmo índice de pasteurização é obtido mais rapidamente pelo processo ôhmico.

Desta forma, nas Tabelas 12 e 13 são sumarizados os valores encontrados de ácido ascórbico e cor (L^* , a^* e b^*) em função dos índices de pasteurização, referente a cada tecnologia aplicada e temperatura de setpoint.

Da Tabela 12, observa-se um comportamento sistemático quanto a influência do índice de pasteurização sobre a concentração do ácido ascórbico, quanto maior o valor de P maior foi a degradação do ácido ascórbico, sinalizando um efeito indesejável do tratamento térmico em relação a conservação desta vitamina. Por exemplo, para o tratamento ôhmico a 80 °C e P= 50 e 100 a concentração de ácido ascórbico foi respectivamente de 25,05 e 11,21 mg/ 100 g. Ainda em relação ao ácido ascórbico, pode-se constatar que em geral a sua degradação foi levemente acentuada com a aplicação da tecnologia ôhmica, permanecendo em uma faixa de redução entre 6% a 36,91%.

Tabela 12- Influência do índice de pasteurização sobre a redução do ácido ascórbico

Temperatura/ pasteurização Convencional	Ácido Ascórbico	Temperatura/ pasteurização Ôhmico	Ácido Ascórbico
60 CV 10P	34,500 ^g ± 0,4243	60 OH 10P	30,153 ^f ± 0,0707
70 CV 50P	26,885 ^c ± 0,4737	70 OH 50P	25,252 ^b ± 0,0989
70 CV 100P	18,685 ^a ± 0,1485	70 OH 100P	12,285 ^e ± 0,0636
80 CV 50P	26,915 ^c ± 0,1202	80 OH 50P	25,050 ^b ± 0,0848
80 CV 100P	17,771 ^a ± 0,3111	80 OH 100P	11,210 ^d ± 0,3253

Letras minúsculas iguais na coluna não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de TuKey.

Fonte: Autoria própria

Em relação ao efeito visual da polpa, associado a sua cor com o índice de pasteurização, os dados da Tabela 13 revelaram que os tratamentos térmicos aplicados e o índice de pasteurização não proveram alterações significativas nas variáveis medidas (L^* , a^* e b^*) evidenciando que quanto a cor não houve alteração ao longo dos processos de aquecimentos nas condições exploradas. Desta forma, ambos os processos térmicos apresentaram uma influência positiva na pasteurização deste alimento, pois a não alteração da coloração é visto como um fator preponderante na escolha e aceitação dos alimentos.

Tabela 13- Influência da temperatura de pasteurização sobre os parâmetros de cor L* a* b*.

Temperatura/ pasteurização	L*	a*	b*
60 CV 10P	46,01 ^a ± 0,96	12,29 ^a ± 1,24	13,21 ^a ± 0,68
60 OH 10P	44,85 ^a ± 1,41	11,73 ^a ± 0,04	12,78 ^a ± 0,27
70 CV 50P	44,31 ^a ± 0,00	12,08 ^a ± 0,00	13,48 ^a ± 0,00
70 OH 50P	48,24 ^a ± 2,70	10,62 ^a ± 1,01	15,14 ^a ± 2,53
70 CV 100P	44,24 ^a ± 0,05	10,52 ^a ± 1,58	12,87 ^a ± 0,60
70 OH 100P	47,10 ^a ± 3,77	11,06 ^a ± 0,26	15,81 ^a ± 2,59
80 CV 50P	44,85 ^a ± 0,46	12,09 ^a ± 0,31	13,41 ^a ± 0,29
80 OH 50P	45,81 ^a ± 0,13	10,26 ^a ± 0,82	13,31 ^a ± 0,76
80 CV 100P	45,00 ^a ± 0,29	12,10 ± 0,06	13,70 ^a ± 0,24
80 OH 100P	44,53 ^a ± 1,21	10,69 ^a ± 1,56	13,30 ^a ± 0,17
Inicial	45,76 ^a ± 0,01	11,41 ^a ± 0,07	13,69 ^a ± 0,01

Letras minúsculas iguais na coluna não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de TuKey.

Fonte: Autoria própria

Com relação ao ácido ascórbico pôde-se observar que o tratamento ôhmico causou uma maior degradação desta vitamina. No entanto, este tratamento possui uma maior eficiência térmica sendo visto como um processo viável em relação aos gastos com consumo energético pela indústria. Contudo, não foi escopo do presente trabalho avaliar os custos de implementação desta tecnologia, entretanto os resultados obtidos representam um cenário positivo e interessante para aplicação na indústria de alimentos. Além disso, pode-se considerar o tratamento ôhmico como uma tecnologia limpa por não gerar substâncias e resíduos que possam agredir o meio ambiente, reduz o consumo de água, além de ter a possibilidade de utilizar fontes de energia renováveis como: a energia solar e eólica entre outras, o que contribui para a redução de gastos a longo prazo, pois reduz 70% do consumo de energia (SALARI E JARIFI, 2020) e pode utilizar um apelo socioambiental nos produtos elaborados com este tratamento térmico.

6 CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível construir e validar uma célula ôhmica para tratamento térmico de polpa de fruta. Na avaliação do perfil de elevação da temperatura os tratamentos térmicos, os mesmos diferiram significativamente demonstrando que o aquecimento ôhmico possuiu menor tempo médio necessário para atingir as temperaturas de 60, 70 e 80 °C que foram de 370 s, 418 s e 490 s, respectivamente. O tratamento ôhmico também apresentou uma melhor eficiência térmica de 40,93% e para o tratamento convencional observou-se 2,62%, na temperatura de 60 °C. Além disso, ao avaliar o consumo elétrico médio do sistema ôhmico encontrou-se um gasto energético de 46 Wh gerando uma economia de 93% quando comparado ao sistema convencional.

Quanto à degradação do ácido ascórbico da polpa de goiaba esta foi influenciada pelo tempo e temperatura indiferente da forma de tratamento térmico. Entretanto, ao empregar o aquecimento ôhmico verificou-se que a degradação do ácido ascórbico ocorreu de forma mais intensa, podendo ser associado ao uso de baixa frequência do campo elétrico e formação de bolhas ao redor dos eletrodos. Entre os modelos cinéticos avaliados, o que possuiu um melhor ajuste na degradação do ácido ascórbico, em ambos os tratamentos térmico, foi o de primeira ordem.

Com relação aos carotenoides presente na polpa de goiaba, observou-se que a 60 °C para os dois tipos tratamento térmico ocorreu um aumento dos níveis de carotenóides, isto pode ter ocorrido devido à quebra de ligação caroteno-proteína e liberação da matriz celular. Porém, em temperaturas superiores foi verificado que os carotenoides tiveram uma pequena redução demonstrando perda da estabilidade do composto ao longo do tempo. Entretanto, a cor não sofreu alteração significativa ao longo do tempo nas duas tecnologias estudadas.

Como forma de fazer uma comparação no processo de pasteurização de polpa de frutas foi estudada a influência do índice de pasteurização sobre a concentração do ácido ascórbico. Quanto maior o valor de P, maior foi a degradação do ácido ascórbico, sinalizando um efeito indesejável do tratamento térmico ôhmico em relação à conservação desta vitamina. No entanto, para os parâmetros de cor não houve alterações significativas.

Os resultados obtidos neste estudo foram promissores, confirmando que a tecnologia ôhmica pode conduzir a um aquecimento mais rápido em alimentos particulados, reduzindo o tempo de exposição ao calor, garantindo uma economia de energia, não alterando os carotenoides e a cor. Contudo, com relação a degradação de ácido ascórbico é necessário fazer uma combinação entre a escolha do material dos eletrodos, corrente elétrica e frequência pois, estes fatores podem influenciar significativamente na degradação de vitaminas termossensíveis.

REFERÊNCIAS

- ACHIR N. *et al.* Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 33. p. 397– 404, 2016.
- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, p. 11, 2018.
- AHMED, J.; SHIVHARE, V. S.; RAGHAVAN, G. S. V. Rheological characteristics and kinetics model for thermal degradation green chilli puree. **Journal of Food Engineering**, v. 44, n. 4, p. 239- 244, 2000.
- AHMED, J.; SHIVHARE, V. S.; SHING, G. D. Chlorophyll and color of green chilli puree as affected by mesh size and temperature. **International Journal of Food Properties**, v. 3, n. 2, p. 305-315, 2001.
- AHMED, J.; SHIVHARE, V. S.; RAMASWAMY, H. S. A fraction conversion kinetics model for thermal degradation of color in red chilli puree and paste. **LWT – Food Science and Technology**, v. 35, n. 6, p. 497-503, 2002.
- ALAMAR, P.; CARAMÊS, E.; POPPI, R. J.; PALLONE, J. Quality evaluation of frozen guava and yellow passion fruit pulps by NIR spectroscopy and chemometrics. **Food Research International**, v. 85, p. 209-214, 2016.
- ALCÁNTARA-ZAVALA, A. E. *et al.* Application of ohmic heating to extend shelf life and retain the physicochemical, microbiological, and sensory properties of *pulque*. **Food and Bioprocess Technology**, v. 118, p. 138- 148, 2019.
- ALI, D. O. M.; AHMED, E. B.; BABIKIR, E. B. Physicochemical and nutritional value of red and white guava cultivars grown in Sudan. **Journal of Agri-Food and Applied Sciences**, v. 2, n. 2, p. 27- 30, 2014.
- ALIGHOURCHI, H.; BARZEGAR, M. Some physicochemical characteristics and degradation kinetic of anthocyanin of reconstituted pomegranate juice during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 179-185, 2009.
- ALTENDORF, S. Minor tropical fruits: Mainstreaming a niche Market. **Food outlook**, p. 67- 70, 2018.
- ALVES, J. A.; NASSUR, R. C. M. R.; PIRES, C. R. F.; ALCÁNTARA, E. M.; GIANNONI, J. A.; LIMA, L. C. O. Cinética de degradação de vitamina C em mangas “Palmer” minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 714-721, 2010.
- ANISUZZAMAN, S. M. *et al.* Removal of chlorinated phenol from aqueous media by guava seed (*Psidium guajava*) tailored activated carbon. **Water Resources and Industry**, v. 16, p. 29-36, 2016.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 18 Ed., 3 Rev: Washington, DC, 2010.

ASHA, S.; PAWAN, S.; ANNU, D. Determination of total phenolic content and total protein in guava (*Psidium guajava*) and lemon (*Citrus limon*). **International Journal of Biological and Pharmaceutical Research**, v. 4, n. 11, p. 827-834, 2013.

ASSIRY, A.; SASTRY, S.K.; SAMARANAYAKE, C. Degradation kinetics of ascorbic acid during ohmic heating with stainless steel electrodes. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 33, p. 187- 196, 2003.

ASSIRY, A. M.; SASTRY, S. K.; SAMARANAYAKE, C. P. Influence of temperature, electrical conductivity, power and pH on ascorbic acid degradation kinetics during ohmic heating using stainless steel electrodes. **Bioelectrochemistry**, v. 68, n. 1, p. 7-13, 2006.

ATHMASELVIA, K.A. *et al.* The Effects of Concentration and Type of Electrode on Electrical Conductivity of Guava Pulp during Ohmic Heating. **Journal of Food Research and Technology**, v. 2, n. 3, p. 113-123, 2014.

BALL, G. F. M. Vitamins: their role in the human body. **Oxford: Blackwell Science Ltd**, 2004. p. 393-415.

BARRET, D. M.; GONZALEZ, C. Activity of softening enzymes during cherry maturation. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 3, p. 574- 577, 1994.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. Cinética de degradação de vitamina C no cozimento doméstico de vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, XVIII, 2002, Porto Alegre. **Anais...** Curitiba, 2002.

BEZERRA, D. L. *et al.* Physiological indices and growth of 'Paluma' guava under saline water irrigation and nitrogen fertigation. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 808-816, 2018.

BOILEAU, T. W.; BOILEAU, A. M.; ERDMAN, J. W. Bioavailability of all-trans and cis-isomers of lycopene. **Experimental Biology and Medicine**, v. 227, n.10, p. 914-919, 2002.

BRASIL, Leis, Decretos etc. Ministério de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Aprova os regulamentos técnicos para a fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa das seguintes frutas: acerola, cacau, cupuaçu, graviola, açaí, maracujá, caju, manga, goiaba, pitanga, uva, mamão, cajá, melão e mangaba. 7 de janeiro de 2000.

BROCHIER, B.; MERCALI, G. D.; MARCZAK, L. D. F. Effect ohmic heating parameters on peroxidase inactivation, phenolic compounds degradation and color changes of sugarcane juice. **Food and Bioproducts Processing**, v. 111, p. 62-71, 2018.

BRUNINI, M. A.; OLIVEIRA, A.L.; VARANDA, D. B. Avaliação da qualidade de polpa de goiaba 'Paluma' armazenada a -20°C . **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 394- 396, 2003.

BURDURLU, H. S.; KOCA, N.; KARADENIZ, F. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2, p. 211-216, 2006.

CAPPATO, L. P. *et al.* Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 104–112, 2017.

CAPPATO, L. P. *et al.* Whey acerola-flavoured drink submitted ohmic heating: bioactive compounds, antioxidant capacity, thermal behavior, water mobility, fatty acid profile and volatile compounds. **Food Chemistry**, v. 263, p. 81- 88, 2018.

CARAMÊS, E. T. S. *et al.* Quality control of cashew apple and guava nectar by near infrared spectroscopy. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 56, p. 41 – 46, 2017.

CARVALHO, C. R. L. **Determinação de Isômeros Geométricos de Alguns Carotenóides Provitaminicos A por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência**. 1996. 127 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

CASTRO, I. *et al.* Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 5, n. 1, p. 27- 36, 2004.

CHAKRABORTYA, I.; ATHMASELVIB, K. A. Changes in physicochemical properties of guava juice during ohmic heating. **Journal of Ready to Eat Food**, v. 1, n. 4, p. 152- 157, 2014.

CHANFORAN, C. L. *et al.* The impact of industrial health-beneficial tomato microconstituents. **Food Chemistry**, v. 134, p. 1786- 1795, 2012.

CHENG, Y. *et al.* Encapsulation of lycopene with lecithin and α -tocopherol by supercritical antisolvent process for stability enhancement. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 130, p. 246- 252, 2017.

CHIVEU, J.; NAUMANN, M.; KEHLENBECK, K.; PAWELZIK, E. Variation in fruit chemical and mineral composition of kenyan guava (*Psidium guava L.*): inferences from climatic conditions, and fruits morphological traits. **J. Appl. Bot. Food Qual.** 92, 151-159, 2019.

CISSE, M. *et al.* Thermal degradation kinetics of anthocyanins from blood orange, blackberry, and roselle using the arrhenius, eyring, and ball models. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 6285- 6291, 2009.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava L.*) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013. 78 f. Dissertação (Magister

Scientiae em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Viçosa, Minas Gerais, 2013.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Balanço 2019 e perspectivas 2020. Brasília: CNA, 2020. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/paginas-especiais/balanco-2019-e-perspectivas-2020>. Acesso em: 1 julho 2020.

CULLEN, P. J., TIWARI, B. K., VALDRAMIDIS, V. P. Status and Trends of Novel Thermal and Non-Thermal Technologies For Fluid Foods Rheological Properties of Fluid Foods. In: CULLEN, P. J., TIWARI, B. K., VALDRAMIDIS, V. P. **Novel Thermal and Non-Thermal Technologies For Fluid Foods**. London: Academic Press, 1 ed., 2012.

DEMIRDÖVEM, A.; BAYSAL, T. Optimization of ohmic heating applications for pectin methylesterase inactivation in orange juice. **Journal of Food Science Technology**, v. 51, p. 1817–1826, 2014.

DURIGAN, J. F. Colheita, conservação e embalagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABEIRA, 1., Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, p. 152-154, 1997.

DUTTA, D.; DUTTA, A.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 4, p. 538– 546, 2006.

EISON-PERCHONOK, M. H.; DOWNES, W. Kinetics of ascorbic acid autoxidation as a function of dissolved oxygen concentration and temperature. **Journal Food Science**, n. 47, p. 765- 767, 1982.

ESCOBAR, A.P.; SYLOS, C.M. **Efeito do processo de obtenção de polpa de goiaba e goiabada sobre os teores de licopeno e de beta-caroteno**. 2006. Dissertação (Mestrado em Análise de Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, DAN, UNESP, Araraquara, SP.

EVANGELISTA, R. M; VIEITES, R. L. Qualidade de polpa de goiaba congelada. **Revista Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 13, n. 2, p. 76-81, 2006.

FACCHI, L.R. *et al.* Qualidade e correlação dos parâmetros físicos e químicos dos frutos de cultivares de goiaba. **Scientific Electronic Archives**, v11, n.4, p. 36-40, 2018.

FADAVI, A. *et al.* Comparative study of ohmic vacuum, ohmic, and conventional-vacuum heating methods on the quality oftomato concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technology**, v. 47, p. 225–230, 2018.

FARAHNAKY, A.; AZIZI, R.; GAVAHIAN, M. Accelerated texture softening of some root vegetables by Ohmic heating. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 2, p. 275-280, 2012.

FDA. (2011). Fish and fisheries products hazards and control guidance, 4rd ed. U.S. Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services.

FENG, X. *et al.* Cytotoxic and antioxidant constituents from the leaves of *Psidium guajava*. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 25, p. 2193–2198, 2015.

FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 3. ed. New York: CRC Press, 2010.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FLORES, G. *et al.* Chemical composition and antioxidant activity of seven cultivars of guava (*Psidium guajava*) fruits. **Food Chemistry**, v. 170, p. 327 - 335, 2015.

GAMA, J. J. T.; SYLOS, C. M. Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice. **Food Chemistry**, v. 100, n. 4, p. 1686-1690, 2007.

GARZÓN, G. A.; WROLSTAD, R. E. Comparison of the stability of pelargonidinbased anthocyanins in strawberry juice and concentrate. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 4, p.1288- 1299, 2002.

GOULLIEUX, A.; PAIN, J. P. Ohmic heating. In: SUN, D. W. **Emerging technologies for food processing**, Elsevier Academic Press: San Diego, p. 476-479, 2005.

GORINSTEIN, S. *et al.* Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 10, p. 367-371, 1999.

GUNAWAN, M. I., BARRINGER, S. A. Green color degradation of blanched broccoli (*Brassica oleracea*) due to acid and microbial growth. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 24, p. 253- 263, 2000.

HALLIWELL, B. Antioxidant characterization. Methodology and mechanism. **Biochemistry Pharmacology**, v. 49, n. 10, p. 1341-1348, 1995.

HALLIWELL, B. Vitamin C and genomic stability. **Mutation Research**, v. 475, n. 1-2, p. 29-35, 2001.

HARBOURNE, N.; JACQUIER, J. C.; MORGAN, D. J.; LYNG, J. G. Determination of the degradation kinetics of anthocyanins in a model juice system using isothermal and non-isothermal methods. **Food Chemistry**, v. 111, n. 1, p. 204- 208, 2008.

HERNÁNDEZ, Y.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. Determination of vitamin C in tropical fruits: a comparative evaluation of methods. **Food Chemistry**, v. 96, n. 4, p. 654- 664, 2006.

HONG, K. *et al.* Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 144, p. 172 - 178, 2012.

HUTCHINGS, J. B. **Food colour and appearance**. London: Blackie Academic and Professional Publication, p. 220- 256, 1994.

IBGE. **Tabelas 2017. Produção Agrícola Municipal**. Lavouras permanentes.

IBGE. **Tabela de composição nutricional dos alimentos consumidos no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **SIDRA - Produção Agrícola Municipal 2015** - Tabela 1613 - Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras permanentes (notas).

ICIER, F. Ohmic heating of fluid foods. **Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods**. p. 305- 367, 2012.

ICIER, F.; LLICALI, C. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. **Food researchd International**, v. 38, n. 10, p. 1135-1142, 2005.

KAGAN, V. E. *et al.* Intermembrane transfer and antioxidant action of α -tocopherol in liposomes. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 280, n. 1, p.147-152, 1990.

KUMARI, P.; MANKAR, A.; KUMARI, K.; HOMA, F.; MEIRAMKULOVA, K.; SIDDIQUI, M. Mineral composition, pigments and postharvest quality of guava cultivars commercially grown in India. **Journal of Agriculture and Food Research**, 2, p. 1-5, 2020.

JAEGER, H. *et al.* Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. **Trends in Food Science & Technology**. v. 55, p. 84- 97, 2016.

JAIARJ, P. *et al.* Anticough and antimicrobial activities of *Psidium guajava* Linn. leaf extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 67, p. 203 - 212, 1999.

LAZAN, H.; ALI, Z. M. Cell wall hydrolases and their potential in the manipulation of ripening of tropical fruits. **Asian Food Journal**, v. 8, p.47-53, 1993.

LEE H. S., CASTLE W.S. Seasonal change of carotenoid pigments and color in Hamlin, Earlygold, and Budd Blood orange juices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p, 877–882, 2001.

LEE, S. H; LABUZA, T. P. Destruction of acid ascorbic as a function of water activity. **Journal of Food Science**, v. 40, p. 370-373, 1975.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 3, p. 207-220, 2000.

LEE, S. B.; PARK, H. R. Anticancer activity of guava (*Psidium guajava* L.) branch extracts against HT-29 human colon cancer cells. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 4, n. 10, p. 891-896, 2010.

LEONG, S. Y.; OEY, I. Effect of pulsed electric field treatment on enzyme kinetics and thermostability of endogenous ascorbic acid oxidase in carrots (*Daucus carota* cv. Nantes). **Food Chemistry**, v. 146, p. 538-547, 2014.

LEŠKOVÁ, E. *et al.* Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 4, p. 252-276, 2006.

LEIZERSON, S.; SHIMONI, E. Stability and sensory shelf life of orange juice pasteurized by continuous ohmic heating. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n.10, p. 4012-4018, 2005.

LIMA, M.; SASTRY, S. K. The effects of ohmic heating frequency on hot-air drying rate and juice yield. **Journal of Food Engineering**, v. 41, p. 115-119, 1999.

LIMA, V. L. A. *et al.* Avaliação do teor de antocianinas em polpa de acerola congelada proveniente de frutos de 12 diferentes aceroleiras (*Malpighia emarginata* D. C.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 101-103, 2003.

LIMA, J. R.; ELIZONDO, N. J.; BOHUON, P. Kinetics of Ascorbic Acid Degradation and Colour Change in Ground Cashew Apples Treated at High Temperatures (100–180°C). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, p. 1724-1731, 2010.

LOUARME L, BILLAUD C. Evaluation of ascorbic acid and sugar degradation products during fruit dessert processing under conventional or ohmic heating treatment. **LWT- Food Science Technology**, n. 49, p. 184- 187, 2012.

LOUREIRO, A. P. M.; DI MASCIO, P.; MEDEIROS, M. H. G. Formação de adutos exocíclicos com bases de DNA: implicações em mutagênese e carcinogênese. **Química Nova**, v.25, p. 777, 2002.

MACHADO, L. F; PEREIRA, R. N.; MARTINS, R. C.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Moderate electric fields can inactivate *Escherichia coli* at room temperature. **Journal Food Engineering**, v. 4, p. 520- 527, 2010.

MAIA, G. A. *et al.* Técnica aumento tempo de conservação da goiaba. **Revista de Ciência e Tecnologia da FUNCAP**, v.1, p.1, 11-12, 2002.

MAKROO, H. A.; SAXENA, J.; RASTOGI, N. K.; SRIVASTAVA, B. Ohmic heating assisted polyphenol oxidase inactivation of watermelon juice: Effects of the treatment

on pH, lycopene, total phenolic content, and color of the juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, p. e13271, 2017.

MALDONADE, I. R. **Produção de carotenoides por leveduras**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MANSO, M. C. *et al.* Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, p. 303-312, 2001.

MARCOTTE, M., TRIGUI, M., RAMASWAMY, H. S. Conductivities and ohmic heating of viscous liquids. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 24, p. 389- 406, 2000.

MARSHALL, W. J.; LAPSLEY, M.; DAY, A. P.; AYLING, R. M. **Bioquímica Clínica: aspectos clínicos e metabólicos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MARTYNENKO, A.; CHEN, Y. Degradation kinetics of totalanthocyanins and formation of polymeric color in blueberry hydrothermodynamic (HTD) processing. **Journal of Food Engineering**, v. 171, p. 44 – 51, 2016.

MCCOOK-RUSSELL, K. P. *et al.* Nutritional and nutraceutical comparison of Jamaican *Psidium cattleianum* (strawberry guava) and *Psidium guajava* (common guava) fruits. **Food Chemistry**, v. 134, p. 1069 - 1073, 2012.

MEIRA, M. O. B. A vitamina C e sua relação com a saúde. In: SÃO JOSÉ, A. B.; ALVES, R. E. **Acerola no Brasil: produção e mercado**. Vitória da Conquista: UESB, p. 1- 3, 1995.

MEHMOOD, A. *et al.* Genetic diversity of Pakistani guava (*Psidium guajava* L.) germplasm and its implications for conservation and breeding. **Scientia Horticulturae**, v. 172, p. 221 - 232, 2014.

MELLO, M. C. **Flores e microalgas como fontes alternativas de carotenoides**. 2002. 113f. Tese (Doutorado). - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MENEZES, C. C. *et al.* Influence of packing and potassium sorbate on the physical, physicochemical and microbiological alterations of guava preserves. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, p. 674- 680, 2011.

MENEZES, P. E.; DORNELLES, L. L.; FOGAÇA, A. O.; BOLIGON, A. A.; ATHAYDE, M. L.; BERTAGNOLLI, S. M. M. Composição centesimal, compostos bioativos, atividade antioxidante e caracterização fenólica da polpa de goiaba. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências da Saúde, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 205- 217, 2016.

MERCALI G. D.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Physical properties of acerola and blueberry pulps. **Journal of Food Engineering**, v. 106, p. 283- 289, 2011.

MERCALI G. D.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment. **LWT- Food Science Technology**, v. 47, p. 91- 95, 2012.

MERCALI G. D.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Degradation Kinetics of anthocyanins in acerola pulp: comparison between ohmic and conventional heat treatment. **Food Chemistry**, v. 136, p. 853- 857, 2013.

MERCALI, G. D. *et al.* Ascorbic acid degradation and color changes in acerola pulp during ohmic heating: Effect of electric field frequency. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 1–7, 2014.

MERCALI, G. D.; GURAK, P. D.; SCHMITZ, F.; MARCZAK, L. D. F. Evaluation of non-thermal effects of electricity on anthocyanin degradation during ohmic heating of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*). **Food Chemistry**, v. 171, p. 200-205, 2015.

MORITZ, B.; TRAMONTE, V. L. C. Biodisponibilidade do licopeno. **Revista de Nutrição**, v.19, n.2, p. 265-273, 2006.

MOSER, U.; BENDICH, A. Vitamin C. In: MACHLIN, L. J. **Handbook of vitamins**. 2. ed. Nova York: Marcel Dekker, Inc., p. 195-224, 1991.

MUTSOKOTI, L. *et al.* Carotenoid bioaccessibility and the relation to lipid digestion: A kinetic study. **Food Chemistry**, v. 232, p. 124-134, 2017.

NETO, B. B. DE; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 3.ed. Campinas: UNICAMP, 2007.

NICOLI, M.C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v.10, n. 3, p. 94- 100, 1999.

NOROUZI, S.; FADAVI, A.; DARVISHI, H. The ohmic and conventional heating methods in concentration of sour cherry juice: Quality and engineering factors. **Journal Food Engineering**, v. 291, p. 110242, 2021.

ODRIOZOLA-SERRANO, I.; SOLIVA-FORTUNY, R.; GIMENO-AÑÓ, V.; MARTÍN-BELLOSO, O. Kinetic study of anthocyanins, vitamin C, and antioxidant capacity in strawberry juices treated by high-intensity pulsed electric fields. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 8387– 8393, 2008.

OEY, I. *et al.* Temperature and pressure stability of l-ascorbic acid and/or [6s] 5-methyltetrahydrofolic acid: A kinetic study. **European Food Research and Technology**, v. 223, n. 1, p. 71-77, 2006.

OSORIO, C.; FORERO, D. P.; CARRIAZO, J. G. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray-drying. **Food Research International**, v. 44, p. 1174 -1181, 2011.

ÖZKAN, M.; AYSEGÜL, K.; CEMEROGLU, B. Effects of hydrogen peroxide on the stability of ascorbic acid during storage in various fruit juices. **Food Chemistry**, v. 88, n. 4, p. 591- 597, 2004.

PADULA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Characterisation of the carotenoids and assessment of the vitamin A value of brasilian guavas (*Psidium guajava L.*). **Food Chemistry**, v. 20, n. 1, p. 11– 19, 1986.

PALANIAPPAN, S.; SASTRY, S. K. Electrical conductivity of selected juices: Influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size. **Journal of Food Process Engineering**, v. 14, n. 4, p. 247-260, 1991.

PAMAR, P.; MEENA, G. S.; SINGH, A. K.; BORAD, S. Application of Ohmic Heating in Dairy and Food Industry. **Application of Ohmic Heating for the Manufacture of Basundi**, Sept. 2016.

PARROT, D. L. Use of Ohmic Heating for Aseptic Processing of Food Particulates. **Food Technology**. Dec. p. 68- 72, 1992.

PENG, J.; TANG, J.; BARRETT, D. M.; SABLANI, S. S.; POWERS, N. A. J. Thermal pasteurization of ready-to-eat foods and vegetables: Critical factors for process design and effects on quality. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 14, p. 2970- 2995, 2017.

PEREIRA, R.; VICENTE, A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. **Food Res Int.** v. 43, p. 1936–1943, 2010.

POMMER, C. V.; MURAKAMI, K. N. R.; WATLINGTON, F. Goiaba no mundo. **O Agrônômico**, v. 58, p. 22-26, 2006.

QUEIROZ, V. A. V. **Teores de Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Se em frutas consumidas na região Norte Fluminense**. 2004. 73 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2004.

QIU, J. *et al.* Formation and degradation kinetics of organic acids during heating and drying of concentrated tomato juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 112–121, 2018.

RAHMAN, M. S. **Handbook of Food Preservation**. New York: Dekker, p. 521- 532, 1999.

RAHMAN, M. S. *et al.* Stability of vitamin C in fresh and freeze-dried capsicum stored at different temperatures. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 3, p. 1691–1697, 2015.

REDY, M. B.; LOVE, M. The impact of food processing on the nutritional quality of vitamins and minerals. **Impact of Processing on Food Safety. Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 459, p. 99-106, 1999.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química dos alimentos**. Instituto Mauá de Tecnologia. Editora Edgard Bücher LTDA, 1ª edição, São Paulo, p. 155- 157, 2004.

RIBEIRO, L. R. O cultivo e o mercado de goiabas no Brasil. **Campo & Negócios online**. jul, 2018.

ROCHA, A.V.; COMINETTI, C.; COZZOLINO, S.M.F. Vitamina C In: COZZOLINO, S.M.F.; COMINETTI, C. **Bases bioquímicas e fisiológicas da nutrição: nas diferentes fases da vida, na saúde e na doença**. Barueri: Manole, 2013.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoids analysis in food**. Washington, DC: International Life Sciences Institute (ILSI) Press, p. 64, 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **Harvest Plus Handbook for Carotenoid Analysis**. HarvestPlus Technical Monography Series 2, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, D.C., p. 58, 2004.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. *et al*. Updated brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, p. 445- 463, 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M., AMAYA-FARFAN, J. **Fontes Brasileiras de Carotenóides: tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos**. Brasília: MMA/SBF, 2008.

RUAN, R., YE, X., CHEN, P., DOONA, C. J., TAUB, I. Ohmic Heating. In: Richardson, P. (ed) **Thermal Technologies in Food Processing**, 1st edn. CRC Press, Boca Raton, 2001.

SABANCI, S., ICIER, F. Effects of vacuum ohmic evaporation on some quality properties of sour cherry juice concentrates. **International Journal of Food Engineering**, v. 15, n. 9, 2019.

SAKR, M., LIU, S. A comprehensive review on applications of ohmic heating. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 262- 269, 2014.

SALARI, S.; JARIFI, S. M. The influence of ohmic heating on degradation of food bioactive ingredients. **Food Engineering Reviews**, v. 12, p. 191- 208, 2020.

SALES, A.; WAUGHON, T. G. M. Influence of processing on the bioactive compound content in murici and hog plum onetefruits. **Revista Agrarian**, v. 6, n. 19, p. 7-15, 2013.

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; MELO FILHO, A. B. Polpa de fruta congelada: efeito do processamento sobre o conteúdo de fibra alimentar. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 3, p. 303- 308, 1999.

SALVIA-TRUJILLO, L.; VERKEMPINCK, S. H. E.; SUN, L.; LOEY, A. M. V.; GRAUWET, T.; HENDRICKX, M. E. Lipid digestion, micelle formation and carotenoid

bioaccessibility kinetics: Influence of emulsion droplet size. **Food Chemistry**, v. 229, p. 653- 662, 2017.

SANAL, I. S.; GÜVENÇ, A.; SALGIN, U.; MEHMETOGLU, A. AÇALIMLI, Recycling of apricot pomace by supercritical CO₂ extraction. **Journal of Super Critical Fluids**, v. 32, p. 221- 230, 2004.

SANT'ANNA, V.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Tracking bioactive compounds with colour changes in foods - A review. **Dyes and Pigments**, v. 98, n. 3, p. 601–608, 2013.

SANTOS, C. X. **Caracterização físico-química e análise da composição química da semente de goiaba oriunda de resíduos agroindustriais**. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

SANTOS, W. N. L. *et al.* Simultaneous determination of 13 phenolic bioactive compounds in guava (*Psidium guajava* L.) by HPLC-PAD with evaluation using PCA and Neural Network Analysis (NNA). **Microchemical Journal**, v. 133, p. 583-592, 2017.

SARKIS, J. R. **Construção de um sistema de aquecimento ôhmico e sua aplicação no tratamento térmico de polpa de mirtilo**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SARKIS, J. R. *et al.* Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry pulp during ohmic and conventional heating. **International Food Research Journal**, v. 26, n. 1, p. 87 - 97, 2019.

SASTRY, S. K.; PALANIAPPAN, S. Ohmic heating of liquid-particle mixtures. **Food Technology**, v. 46, n.12, p. 64- 67, 1992.

SASTRY, S. K.; ASSIRY, A.; SAMARANAYAKE, C. Degradation kinetics of ascorbic acid during ohmic heating with stainless steel electrodes. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 33, p. 187- 196, 2003.

SASTRY, S.K.; BARACH, J. T. Ohmic and inductive heating. **Jornal of Food Science**, v. 65, p. 42–46, 2000.

SAXENA, J., MAKROO, H, A.; SRIVASTAVA, B. Optimization of timeelectric field combination for PPO inactivation in sugarcane juice by ohmic heating and its shelf life assessment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 71, p. 329- 338, 2016.

SCHROEDER, W.A.; JOHNSON, E. A. Carotenoids protect *Phaffia rhodozyma* against oxygen damage. **Journal of Industrial Microbiology**, n. 14, p. 502-507, 1995.

SEVDA, S. *et al.* Extraction and optimization of guava juice by using response surface methodology. **American Journal of Food Technology**, v. 7, n. 6, p. 326-333, 2012.

SHARMA, A. *et al.* Morphological and chemical characterization of *Psidium* Species. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- Napoca**, v. 38, n. 1, p. 28- 32, 2010.

SHIN, S.; BHOWMIK, S. R. Thermal kinetics of color changes in pea puree. **Journal of Food Engineering**, v. 27, p. 77- 86, 1994.

SILVA, F. V. M.; GIBBS, P. A. Non-proteolytic *Clostridium Botulinum* spores in low-acid cold-distributed foods and design of pasteurization processes. **Trends Food Science Technology**, v. 21, p.95- 105, 2010.

STEET, J. A.; TONG, C. H. Degradation kinetics of green colour and chlorophyll in peas by colorimetry and HPLC. **Journal of Food Science**, v. 61, p. 924–927, 1996.
SZENT-GYÖRGYI, A. Vitamin C. In: COMBS JR., G. F. **The vitamins: fundamental aspects in nutrition and health**. 2. ed. San Diego: Academic Press, p. 3- 7, 1999.

TAPIERO, H.; TOWNSEND, D. M.; TEW, K. D. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 58, n. 2, p. 100-110, 2004.

TAVARES, J. T. Q. *et al.* Estabilidade do ácido ascórbico em suco de laranja submetido a diferentes tratamentos. **Magistra**, v. 12, p. 1- 4, 2000.

THURNHAM, D. Bioequivalence of β - carotene and retinol. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 87, p. 13- 39, 2007.

TOLEDO, R. Kinetic of Chemical Reactions in Foods. In: **Fundamentals of Food Process Engineering**, 2. rev. ed. New York: Aspen Publishers. p. 302- 314, 1999.

TUCKER, G. FEATHERSTONE, S. **Essentials of Thermal Processing**. Blackwell Publishing Ltda, 2011.

TUMPANUVATR, T.; JITTANIT, W. The temperature prediction of some botanical beverages, concentrated juices and purees of oranges and pineapple during ohmic heating. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 2, p. 226- 233, 2012.

UENOJO, M.; Junior, M. R. M.; Pastore, G. M. **Carotenoides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma**. Quim. Nova, v. 30, n. 3, p. 616- 622, 2007.

VIEIRA, L. M. *et al.* Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 888- 897, 2011.

VIKRAM, V.B.; RAMESH, M.N.; PRAPULLA, S.G. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p. 31-40, 2005.

WANG, W. D., XU, S. Y. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and

concentrate. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 3, p. 271- 275, 2007.

WATANABE, T. *et al.* Avaliação da influência de substâncias fenólicas e carotenoides na anomalia do epicarpo da goiaba, “anelamento”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, p. 008- 013, 2011.

WU, D.; SUN, D. W. Colour measurements by computer vision for food quality control – a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 29, n. 1, p. 5- 20, 2013.

YE, X. *et al.* Simulation and verification of ohmic heating in static heater using MRI temperature mapping. **LWT- Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 49–58, 2004.

YILDIZ, H., ICIER, F., BAYSAL, T. Changes in β -carotene, chlorophyll and color of spinach puree during ohmic heating. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, p. 763–779, 2010.

ZHAO, Y.; KOLBE, E.; FLUGSTAD, B. A method to characterize electrode corrosion during ohmic heating. **Journal of Food Process Engineering**, v. 22, p. 81–89, 1999.

ZHOU, Y.; WANG, T; MENG, Q.; ZHAI, S. Association of carotenoids with risk of gastric cancer: A meta-analysis. **Clinical Nutrition**, v. 35, n. 1, p. 109- 116, 2016.

APÊNDICE A

Tabela Anova dos ajustes dos modelos cinéticos de Primeira ordem e Weibull.

Tratamento Convencional

Temperatura de 60 °C CV.

Análise da variância para o ajuste com o modelo Primeira Ordem

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	0,12222	1	0,1222
Resíduos	0,01430	15	0,0010
Fajuste	0,52645	7	0,0752
Erro puro	0,54075	8	0,0676
Total =	0,13652	15	0,01
% de variação explicada =		89,52 %	
% máxima de variação explicada =		90,11 %	

F	alpha	F-Crit	valor p
128,18	0,05	4,54	9,5370E-09

FQM _{Faj} /QM _{Exp}	F*(alpha,gl _{Fajuste} ,gl _{ErroPuro})
1,11	3,50

Análise da variância para o ajuste com o modelo Weibull

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	0,12270	2	0,0613
Resíduos	0,01383	13	0,0011
Fajuste	0,52692	5	0,1054
Erro puro	0,54075	8	0,0676
Total =	0,13652	15	0,01
% de variação explicada =		89,87 %	
% máxima de variação explicada =		90,11 %	

F	alpha	F-Crit	valor p
115,34	0,05	3,81	5,3249E-09

FQM _{Faj} /QM _{Exp}	F*(alpha,gl _{Fajuste} ,gl _{ErroPuro})
1,56	3,69

Fonte: Autoria própria

Temperatura de 70 °C CV

Análise da variância para o ajuste com o modelo Primeira Ordem

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	0,17838	1	0,1784
Resíduos	0,02110	15	0,0014
Fajuste	0,36390	7	0,0520
Erro puro	0,38501	8	0,0481
Total =	0,19948	15	0,01
% de variação explicada =		89,42 %	
% máxima de variação explicada =		91,50 %	
F	alpha	F-Crit	valor p
126,79	0,05	4,54	1,0262E-08
FQM _{Faj} /QM _{Exp}	F*(alpha,gl _{Fajuste} ,gl _{ErroPuro})		
1,08	3,50		

Análise da variância para o ajuste com o modelo Weibull

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	0,17824	2	0,0891
Resíduos	0,02125	13	0,0016
Fajuste	0,36376	5	0,0728
Erro puro	0,38501	8	0,0481
Total =	0,19948	15	0,01
% de variação explicada =		89,35 %	
% máxima de variação explicada =		89,57 %	
F	alpha	F-Crit	valor p
109,06	0,05	3,81	7,5089E-09
FQM _{Faj} /QM _{Exp}	F*(alpha,gl _{Fajuste} ,gl _{ErroPuro})		
1,51	3,69		

Fonte: Autoria própria

Temperatura de 80 °C CV.

Análise da variância para o ajuste com o modelo Primeira Ordem

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	0,34874	1	0,3487
Resíduos	0,10968	15	0,0073
Fajuste	0,03329	7	0,0048
Erro puro	0,14298	8	0,0179
Total =	0,45842	15	0,03
% de variação explicada =		76,07 %	
% máxima de variação explicada =		87,33 %	
F	alpha	F-Crit	valor p
47,69	0,05	4,54	5,0107E-06
FQMFaj/QMExp F*(alpha,glFajuste,glErroPuro)			
0,27	3,50		

Análise da variância para o ajuste com o modelo Weibull

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	0,35298	2	0,1765
Resíduos	0,10544	13	0,0081
Fajuste	0,03753	5	0,0075
Erro puro	0,14298	8	0,0179
Total =	0,45842	15	0,03
% de variação explicada =		77,00 %	
% máxima de variação explicada =		91,25 %	
F	alpha	F-Crit	valor p
43,52	0,05	3,81	1,7361E-06
FQMFaj/QMExp F*(alpha,glFajuste,glErroPuro)			
0,42	3,69		

Fonte: Autoria própria

Aquecimento ôhmico

Temperatura de 60 °C OH.

Análise da variância para o ajuste com o modelo Primeira Ordem

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	1,60557	1	1,6056
Resíduos	0,03373	15	0,0022
Fajuste	0,12673	7	0,0181
Erro puro	0,16046	8	0,0201
Total =	1,63930	15	0,11
% de variação explicada =		97,94 %	
% máxima de variação explicada =		99,22 %	

F	alpha	F-Crit	valor p
714,06	0,05	4,54	4,5770E-14

FQMFaj/QMExp	F*(alpha,gIFajuste,gIErroPuro)
0,90	3,50

Análise da variância para o ajuste com o modelo Weibull

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	0,98145	2	0,4907
Resíduos	0,10030	13	0,0077
Fajuste	0,23880	5	0,0478
Erro puro	0,33910	8	0,0424
Total =	1,08175	15	0,07
% de variação explicada =		90,73 %	
% máxima de variação explicada =		93,15 %	

F	alpha	F-Crit	valor p
127,21	0,05	3,81	2,9099E-09

FQMFaj/QMExp	F*(alpha,gIFajuste,gIErroPuro)
1,13	3,69

Fonte: Autoria própria

Temperatura de 70 °C OH.

Análise da variância para o ajuste com o modelo Primeira Ordem

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	1,73558	1	1,7356
Resíduos	0,03301	15	0,0022
Fajuste	0,00118	7	0,0002
Erro puro	0,03419	8	0,0043
Total =	1,76859	15	0,12
% de variação explicada =		98,13 %	
% máxima de variação explicada =		98,45 %	
F	alpha	F-Crit	valor p
788,75	0,05	4,54	2,2006E-14
FQMFaj/QMExp F*(alpha,gIFajuste,gIErroPuro)			
0,04	3,50		

Análise da variância para o ajuste com o modelo Weibull

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	1,73558	2	0,8678
Resíduos	0,03301	13	0,0025
Fajuste	0,00118	5	0,0002
Erro puro	0,03419	8	0,0043
Total =	1,76859	15	0,12
% de variação explicada =		98,13 %	
% máxima de variação explicada =		98,98 %	
F	alpha	F-Crit	valor p
683,58	0,05	3,81	6,7776E-14
FQMFaj/QMExp F*(alpha,gIFajuste,gIErroPuro)			
0,06	3,69		

Fonte: Autoria própria

Temperatura de 80 °C OH.

Análise da variância para o ajuste com o modelo Primeira Ordem

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	1,98264	1	1,9826
Resíduos	0,00527	15	0,0004
Fajuste	0,12360	7	0,0177
Erro puro	0,12887	8	0,0161
Total =	1,98791	15	0,13
% de variação explicada =		99,73 %	
% máxima de variação explicada =		99,81 %	
F	alpha	F-Crit	valor p
5643,14	0,05	4,54	9,6118E-21
FQMFaj/QMExp F*(alpha,glFajuste,glErroPuro)			
1,10	3,50		

Análise da variância para o ajuste com o modelo Weibull

Fonte de Variação	Soma Quadrática	N. de g.l.	Média quadrática
Regressão	1,98280	2	0,9914
Resíduos	0,00511	13	0,0004
Fajuste	0,12377	5	0,0248
Erro puro	0,12887	8	0,0161
Total =	1,98791	15	0,13
% de variação explicada =		99,74 %	
% máxima de variação explicada =		99,91 %	
F	alpha	F-Crit	valor p
5048,66	0,05	3,81	1,6205E-19
FQMFaj/QMExp F*(alpha,glFajuste,glErroPuro)			
1,54	3,69		

Fonte: Autoria própria