

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THAYNÁ OLIVEIRA

**ESTABILIDADE DA VITAMINA C DURANTE PROCESSAMENTO TÉRMICO POR
AUTOCLAVE DE CASCATA DE ÁGUA**

FRANCISCO BELTRÃO

2021

THAYNÁ OLIVEIRA

**ESTABILIDADE DA VITAMINA C DURANTE PROCESSAMENTO TÉRMICO POR
AUTOCLAVE DE CASCATA DE ÁGUA**

Stability of vitamin C during thermal processing by water cascade autoclave

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof. Dra Irede Angela Lucini Dalmolin.

FRANCISCO BELTRÃO

2021



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es).

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

THAYNÁ OLIVEIRA

**ESTABILIDADE DA VITAMINA C DURANTE PROCESSAMENTO TÉRMICO POR
AUTOCLAVE DE CASCATA DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data da aprovação: 30 de novembro de 2021.

Irede Angela Lucini Dalmolin.
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Claiton Zanini Brusamarello
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maria Isabel Berto
Doutorado
Instituto de Tecnologia de Alimentos

FRANCISCO BELTRÃO - PR

2021

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela resiliência, sabedoria e todas as bênçãos concedidas durante toda minha graduação, sou grata pela vida e por todos obstáculos impostos ao longo dela. Gratulo ainda, a minha Santa Sara por atender minhas preces e por nunca ter me desamparado.

A minha mãe Joice, por ter sido mãe-solo e nunca ter desistido da luta, por ser meu motivo de força e perseverança, por mover o mundo para que eu tivesse o melhor estudo, por mover o seu mundo para conseguir a minha felicidade, eu te amo. Ao meu padrasto Ademir, por assumir a responsabilidade e por ser um pai maravilhoso. Aos meus avós, pelos incentivos e todo amor. A minha prima Giovanna, por ser minha ouvinte e por suas lindas orações. Ao meu tio Renan, eu sempre serei grata pela oportunidade que me deu. A minha família como um todo, eu sou um ser humano feliz por compartilhar a vida com vocês.

Aos amigos, Beatriz, Bianca, Bruno, Ellen, João Jonas, Larissa, Lucas e Milena, vocês foram meus alicerces, estiveram nos meus surtos, sorrisos e sempre estenderam a mão para mim. Ao Jonas, obrigada por ser minha dupla de dois, por ser família, por ser acolhimento. A Larissa, por ter segurado minha mão e nunca ter soltado.

Ao ITAL e toda sua equipe, por todo o espaço concedido para a realização desse trabalho de conclusão. A Maria Isabel, você me inspira a ser uma engenheira melhor, sou grata por poder aprender com você.

A minha orientadora Irede, que ser humano maravilhoso, todos deveriam conhecer sua alegria e leveza.

Por último, dedico esse TCC a você vó Nice, que foi minha melhor amiga desde que eu era um grãozinho de gente, seu amor, sua energia, seus conselhos, seus ensinamentos, suas broncas e seu cheiro são as minhas memórias mais valiosas. Você foi a melhor alma que minha vida já cruzou. Você faz falta, minha estrelinha.

RESUMO

Preservar as propriedades nutricionais, paralelo à produção de um alimento seguro, é um desafio eminente na indústria de alimentos. Durante a aplicação de barreiras de conservação no suco de laranja alguns compostos podem ser afetados, como é o caso da vitamina C (ácido ascórbico), que apresenta predisposição para fácil degradação. A pasteurização é o tratamento térmico mais recomendado para o produto em questão, devido a sua acidez. Autoclaves são equipamentos designados para processamentos térmicos de alimentos através de calor úmido, onde operam sobre temperatura, pressão e tempo controlados. Alguns desses equipamentos podem ser classificados por operarem sobrepressão, como é o caso da autoclave por cascata de água, que é vista como alternativa para o processo térmico de alimentos mais sensíveis, pois caracteriza-se como um processamento menos invasivo. Tal argumentação foi confirmado no presente trabalho; atingiu-se uma retenção de 97,47% do teor de ácido ascórbico após a ação do calor. O emprego de dois tipos de embalagens, plástica e metálica, para o ensaio indicou que o uso de embalagens de última favorece a estabilidade do micronutriente.

Palavras-chave: Vitamina C; Estabilidade; Autoclave.

ABSTRACT

Preserving nutritional properties, parallel to the production of a safe food, is an eminent challenge in the food industry. During the application of conservation barriers in orange juice compounds can be affected, as is the case of vitamin C (ascorbic acid), which is predisposed to easy degradation. Pasteurization is the most recommended heat treatment for the product in question, due to its acidity. Autoclaves are equipment designed for thermal food processing using moist heat, where they operate under controlled temperature, pressure and time. Some equipment can be classified as operating overpressure, such as the water cascade autoclave, which is seen as alternative for the thermal process of more sensitive foods, because it is characterized as a less invasive processing. This argument was confirmed in the present work, it was achieved retention of 97.47% of the ascorbic acid content after the action of heat. The use of different packaging for the test indicated that the use of metal packaging favors the stability of the micronutrient.

Keywords: Vitamin C; Stability; Autoclave.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Autoclave estacionária horizontal | 16 |
| Figura 2- Autoclave sobrepessão por cascata de água | 17 |
| Figura 3 - Síntese de Vitamina C..... | 21 |
| Figura 4 - Fluxograma da análise da estabilidade da vitamina C com o uso de tratamento térmico..... | 23 |
| Figura 5 - Autoclave piloto de um cesto, marca Steriflow® | 25 |
| Figura 6– Instrumentação das latas para ensaio de penetração de calor..... | 27 |
| Figura 7– Instrumentação das garrafas para ensaio de penetração de calor.... | 27 |
| Figura 8 – Instrumentação das latas em seu ponto de aquecimento mais lento | 28 |
| Figura 9 – Instrumentação das garrafas em seu ponto de aquecimento mais lento | 28 |
| Figura 10 – Latas instrumentadas, envasadas e fechadas..... | 29 |
| Figura 11– Garrafas instrumentadas, envasadas e fechadas | 29 |
| Figura 12 – Latas posicionadas no cesto da autoclave com sensor de temperatura acoplado..... | 30 |
| Figura 13 – Garrafas posicionadas no cesto da autoclave com sensor de temperatura acoplado..... | 30 |
| Figura 15 – Parâmetros reais da pasteurização à 90 °C de suco de laranja, envasado em garrafas plásticas | 32 |
| Figura 16 – Parâmetros reais da pasteurização à 85 °C de suco de laranja, envasado em garrafas plásticas | 32 |
| Figura 17 – Parâmetros reais da pasteurização à 90 °C de suco de laranja, envasado em latas à vácuo | 33 |
| Figura 18 – Parâmetros reais da pasteurização à 85 °C de suco de laranja, envasado em latas à vácuo | 33 |
| Figura 19 – Letalidade atingida na pasteurização à 90 °C de suco de laranja, envasado em garrafas plásticas | 34 |
| Figura 20 – Letalidade atingida na pasteurização à 85 °C de suco de laranja, envasado em garrafas plásticas | 34 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 21 – Letalidade atingida na pasteurização à 90 °C de suco de laranja, envasado em latas à vácuo | 34 |
| Figura 22 – Letalidade atingida na pasteurização à 85 °C de suco de laranja, envasado em latas à vácuo | 35 |
| Figura 23 – Gráfico da relação tempo <i>versus</i> teor de ácido ascórbico perdido | 38 |
| Figura 24 – Gráfico de superfície de resposta dos efeitos da temperatura e tempo sob a perda de Vitamina C durante processamento térmico | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| Tabela 1 – Modos de operação da autoclave..... | 25 |
| Tabela 2 – Parâmetros pré-estabelecidos para cada fase do processamento térmico | 26 |
| Tabela 3 – Letalidades recomendadas para produtos ácidos..... | 31 |
| Tabela 4 – Tempos de patamar e total de processamento | 33 |
| Tabela 5 – Quantidade de ácido ascórbico após pasteurização do suco de laranja | 35 |
| Tabela 6 – Análise de variância aplicada nos valores obtidos de ácido ascórbico sob os efeitos das variáveis, suas interações e significância ($p \leq 0,05$)..... | 37 |
| Tabela 7 – Quantidade de ácido ascórbico após processamento térmico com diferentes parâmetros..... | 37 |
| Tabela 8 – Correlações entre variáveis. Correlações marcadas são significativas em $p < 0, 05$..... | 38 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | OBJETIVOS | 12 |
| 2.1 | Objetivo geral | 12 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 12 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA | 13 |
| 3.1 | Indústria de alimentos | 13 |
| 3.1.1 | Métodos de Conservação de Alimentos | 13 |
| <u>3.1.1.1</u> | <u>Conservação por calor</u> | <u>14</u> |
| 3.2 | Trocadores de calor | 15 |
| 3.3 | Autoclave | 15 |
| 3.3.1 | Autoclave por Cascata D'água | 16 |
| 3.4 | Emprego do calor no alimento | 17 |
| 3.5 | Suco de laranja | 19 |
| 3.6 | Vitamina C | 20 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 23 |
| 4.1 | Suco de laranja | 23 |
| 4.2 | Determinação do ácido ascórbico (vitamina C) | 24 |
| 4.3 | Processamento térmico | 25 |
| 4.4 | Análise estatística | 31 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 32 |
| 5.1 | Processamento térmico | 32 |
| 5.1.1 | Tempo real de processamento térmico | 32 |
| 5.1.2 | Letalidade..... | 34 |
| 5.2 | Determinação de ácido ascórbico (vitamina C) | 35 |
| 5.2.1 | Processamento térmico <i>versus</i> estabilidade do ácido ascórbico | 36 |
| 5.2.2 | Análise estatística..... | 37 |
| 6 | CONCLUSÕES | 40 |
| | REFERÊNCIAS | 41 |

1 INTRODUÇÃO

Ter uma boa vida de prateleira, manter as características organolépticas, nutricionais e garantir um alimento seguro, são parâmetros que refletem na qualidade do alimento produzido pela indústria de alimentos. As barreiras necessárias para garantir a inocuidade do alimento podem interferir nas características sensoriais e nutricionais dos alimentos; desnaturando suas proteínas, desestabilizando as vitaminas e conseqüentemente, produzindo um alimento impalatável (FELLOWS, 2019).

Dentre as características nutricionais, as vitaminas são micronutrientes extremamente sensíveis e algumas apresentam certa facilidade de degradação na presença do calor, como é o caso do ácido ascórbico, comumente conhecido como vitamina C (AMEL, 2017).

Trivialmente relacionada à laranja, a vitamina C é tida como uma vitamina de intensa importância nutricional devido à sua ação com radicais livres. Simultaneamente, é apontada como a vitamina mais instável, visto que apresenta sensibilidade ao calor, à luz e é hidrofílica. Por conter tais características, manter o ácido ascórbico após o processamento de sucos de laranja é visto como um desafio na indústria (FIORUCCI, 2003).

Durante processos de esterilização comercial, onde há o emprego do calor em alimentos já embalados, a validação e avaliação do binômio de parâmetros tempo/temperatura se faz necessário. Visto que, quando regulados, podem fornecer um alimento pasteurizado sem que afete de maneira invasiva as propriedades do mesmo (TADINI *et al.*, 2015).

A conservação dos alimentos pelo calor úmido é vista como uma barreira microbiológica eficiente, uma vez que, além de garantir segurança alimentar ao consumidor, a mesma apresenta um custo benefício interessante à empresa. A umidade em altas temperaturas é responsável pela letalidade de microrganismos e a desnaturação enzimática (MARZAGÃO, 2004).

Como alternativa para a pasteurização de alimentos com propriedades sensíveis, o uso de autoclaves que operam sobre pressão é visto como menos invasiva. O uso da água faz com que não seja necessário conduzir a altas temperaturas e pressão o processo. Isso se dá pela extrema minuciosidade ao

controlar os parâmetros responsáveis por garantir a pasteurização do alimento (FRAVET, 2006).

Algumas autoclaves que operam por cascata de água, sobrepessão, além de conseguirem entregar um produto estéril com redução do dano causado pelo calor dado o uso da água, fazem uso de agitação para que a temperatura empregada seja ainda menor, garantindo danos ainda menores à estrutura química do alimento (FRAVET, 2006).

A implementação da pasteurização por cascata de água em sucos de laranja, a fim de analisar o comportamento do ácido ascórbico perante variações de tempo, temperatura e agitação, é explanada no presente trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar comportamento da vitamina C, presente no suco de laranja, antes e após processo térmico em autoclave por cascata de água.

2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

- Determinar a interferência do binômio tempo/temperatura na vitamina C, durante o processo de pasteurização.

Identificar se a embalagem é um fator que contribui para a estabilidade da vitamina C durante o processamento com o uso de embalagem plástica e metálica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Indústria de alimentos

Qualidade e segurança nos alimentos, são as maiores metas a serem alcançadas durante a produção de alimentos. O controle químico, físico e microbiológico são diretamente proporcionais ao sucesso de ambas as metas. Contudo, garantir qualidades sensoriais a um alimento paralelo a manter um controle microbiológico apresenta-se como um dos principais desafios da indústria alimentícia. A segurança dos alimentos implica na ausência de compostos químicos, de corpos estranhos e de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA's), onde a última em questão está intimamente vinculada a microrganismos que apresentam patogenicidade (FELLOWS, 2016; PANDOLFI; MOREIRA; TEIXEIRA, 2020).

Fellows (2016) complementa que como alternativa, a tecnologia de barreiras foi desenvolvida caracterizando-se pela união de métodos de conservação de alimentos, a fim de evitar reações enzimáticas, reações com o oxigênio presente no ar, além de formar inúmeros obstáculos que o microrganismo deverá cruzar. Tais barreiras podem ser físicas, microbiana e/ou físico-químicas. O emprego das mesmas garante uma desordem interna aos microrganismos, tendo como consequência sua inatividade ou morte. Ao mesmo tempo que permite uma aplicação mais branda dos métodos de conservação, devido a coadunação dos mesmos, garantindo uma melhor qualidade sensorial ao alimento.

3.1.1 Métodos de Conservação de Alimentos

O ato de conservar alimentos é um marco de início não datado, realizado de forma empírica durante muitos séculos. Com o avanço da tecnologia e a necessidade de perdurar o alimento por um tempo maior e com qualidade, a ciência dos alimentos evoluiu e embasou métodos de conservação através de pesquisas e descobertas. Tais métodos são fundamentados pela destruição integral ou parcial de agentes alteradores, como microrganismos e enzimas (LOPES, 2007).

Leistner e Gould (2002) evidenciaram que apesar de existir diversas barreiras de conservação, algumas das mais importantes são embasadas na alteração de

temperatura, acidez, atividade de água, no potencial oxirredução, além da adição de conservante.

Na revisão bibliográfica de Barros *et al.* (2020), os mesmos explanam e setorizam as técnicas que garantem as características organolépticas do alimento em métodos de conservação por: calor, radiação, frio, secagem ou desidratação, adição de elementos, fermentação, osmose e embalagens.

3.1.1.1 Conservação por calor

O uso de tratamento térmico em alimentos tem como finalidade a redução da carga microbiana, bem como a inativação das enzimas presentes nos alimentos. Os métodos existentes segregam-se em branqueamento, pasteurização e esterilização. A escolha do processo varia de acordo com a sensibilidade do produto e do resultado desejado, visto que a exposição a temperatura *versus* tempo interfere de forma direta nas qualidades sensorial e nutricional do produto final (EMBRAPA, 2012).

Branqueamento: Processo comumente aplicado em frutas e hortaliças, que tem como princípio o uso de calor por curto período e após, o uso de resfriamento. Conhecido como um tratamento brando, o emprego do calor ocorre em uma temperatura inferior ou igual a 100 °C, por um período menor que 10 minutos. Esse método objetiva a diminuição da carga microbiana, inativação enzimática e o amaciamento do produto (BARROS *et al.*, 2020).

Pasteurização: Tem como finalidade a destruição ou inativação de microrganismos patógenos presentes no alimento, inativação enzimática e o aumento da vida de prateleira. A pasteurização é o emprego de calor em alimentos sensíveis a altas temperaturas. Pode ser rápida, onde o produto é exposto a uma temperatura de 72 °C por 15 segundos e após, é resfriado à 5 °C, ou a pasteurização pode ser lenta com exposição a 62 °C por 30 minutos. Por não haver destruição da carga microbiana total, a pasteurização, normalmente é aplicada em conjunto com outra barreira de conservação, como por exemplo a acidez. (EMBRAPA, 2012).

Esterilização: Consiste no uso de altas temperaturas em um curto espaço de tempo e posteriormente ocorre queda de temperatura de forma rápida, com o intuito de tornar o produto estéril. Porém na esterilização em alimentos, chamada de esterilização comercial, o alimento não é submetido a temperatura ideal para a

obtenção de um produto estéril, visto que a mesma pode vir a modificar suas características organolépticas (CESÁR, 2008).

Vasconcelos e Filhos (2010) acrescentaram ainda os métodos de apertização e de tindalização. Em que o primeiro consiste na esterilização de produtos enlatados e o segundo na esterilização sem o emprego de altas temperaturas, mas com o uso de aquecimento de forma descontínua.

3.2 Trocadores de calor

Um trocador de calor é definido como um dispositivo ou sistema, capaz de realizar troca térmica entre dois ou mais fluidos sem que ocorra contato direto entre ambos. A transferência de calor, por sua vez, se dá pelos mecanismos de convecção e condução (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Tadini *et al.* (2015), salienta que o funcionamento de tal equipamento se dá pela energia térmica que se dissipa de um fluido quente para um fluido frio, através de uma barreira condutora. Nesse processo ocorre uma variação de entalpia, latente e/ou sensível, que pode levar à mudança de estado físico e/ou mudança de temperatura.

Em uma indústria de alimentos, um trocador de calor, além de ser usado em processos de pasteurização de alimentos, onde o produto em questão diminui sua carga microbiana enquanto passa pelos canais do trocador, pode também ser usado como uma etapa de aquecimento de água para outros processos, como uma esterilização comercial.

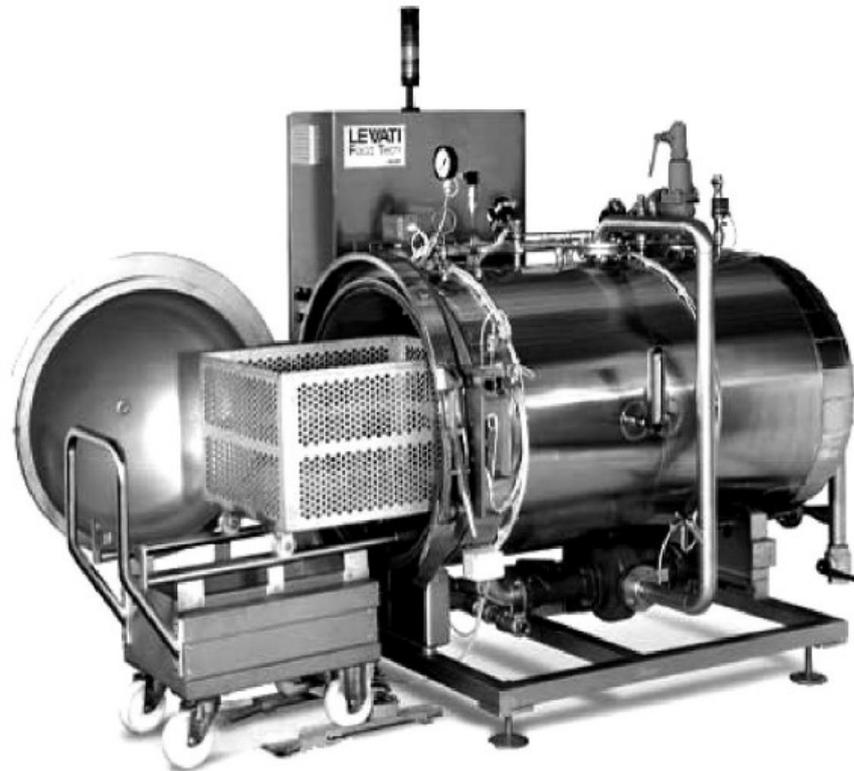
Quanto a classificação de trocadores de calor, não há uma consonância entre autores, visto que o equipamento pode ser agrupado de diversas maneiras. O presente trabalho apresenta os principais trocadores de calor utilizados na indústria de alimentos de acordo com Tadini *et al.* (2015).

3.3 Autoclave

Como anteriormente citado, a autoclave é um equipamento onde pressão, temperatura, umidade e tempo são parâmetros variáveis, que quando combinados de maneira eficiente, levam o indicador biológico à sua desordem e conseqüentemente à sua morte (MARZAGÃO, 2004).

O processamento térmico em uma autoclave pode ocorrer de forma contínua ou por batelada, em que a última é a forma mais usual na indústria. Além disso, a classificação do equipamento pode ser dada através da comparação de diversas características, como operada por água ou vapor, estacionária ou rotativa, dentre outras (TANDINI *et al.*, 2015). Na Figura 1 a fotografia de uma autoclave estacionária horizontal.

Figura 1 - Autoclave estacionária horizontal



Fonte: Tadini *et al.* (2015)

De acordo com Tadini *et al.* (2015), os componentes básicos de uma autoclave são os cestos, entrada e saída de água, trocador de calor, termostato, purga e manômetro.

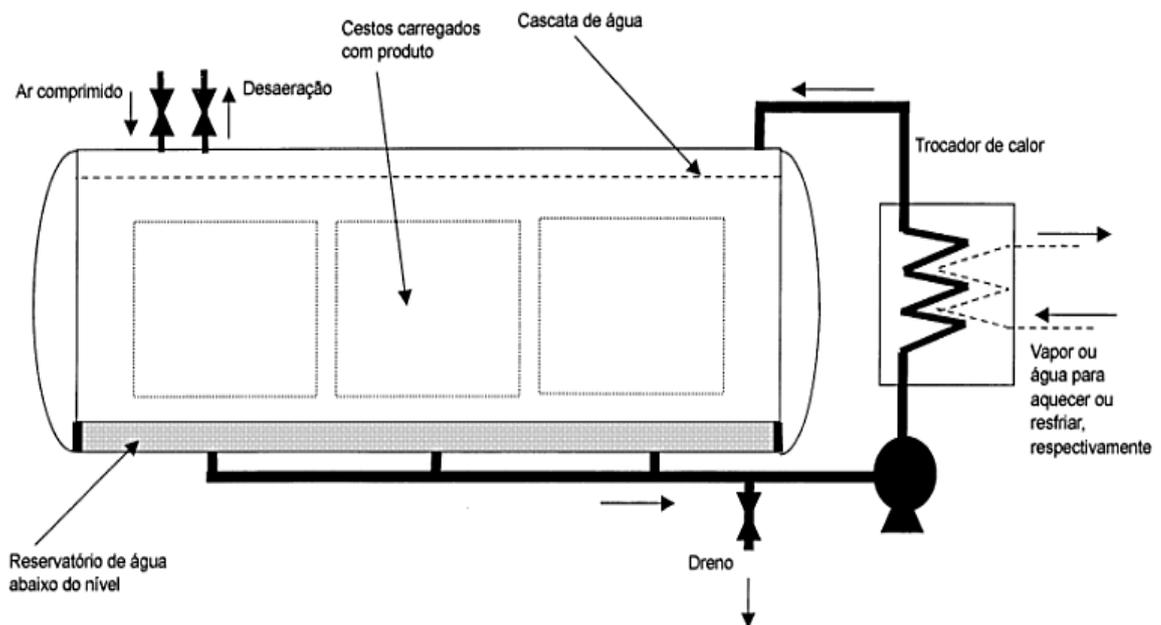
3.3.1 Autoclave por Cascata D'água

Quando uma autoclave opera em uma pressão acima de 15 psi intitula-se um processamento com sobrepressão. Esta pressão extra pode ser dada pela inserção de ar e/ou vapor adicional. Algumas autoclaves utilizam água como meio de troca

térmica na qual pode ocorrer de três formas: imersão completa dos cestos, pela fusão da água com vapor ou por cascata sobre os cestos.

A última em questão, uma autoclave de sobrepressão por cascata de água, tem um sistema de distribuição de água em sua parte superior, onde água cai em forma de cascata e quando em contato com o produto, ocorre o aquecimento ou resfriamento do mesmo. Ademais, faz-se o uso de bombas de alta capacidade para que ocorra a recirculação da água, onde normalmente a variação térmica se dá por um trocador de calor, como apresentado na Figura 2. O uso desse modelo de autoclave é comumente disseminado para alimentos e embalagens sensíveis, visto que por atuar com sobrepressão, é tida como um processamento menos invasivo quando comparado a uma autoclave de vapor saturado (FRAVET, 2006).

Figura 2- Autoclave sobrepressão por cascata de água



Fonte: Fravet (2006)

3.4 Emprego do calor no alimento

Como elucidado anteriormente, o tratamento térmico se propõe a redução parcial ou total das entidades biológicas presentes no produto. Alguns processamentos térmicos podem ser realizados em autoclaves, onde o modelo mais comum consiste em reservatórios pressurizados com a injeção de vapor saturado,

ocorrendo troca térmica do calor úmido com o produto em questão (TADINI *et al.*, 2015).

Na indústria de alimentos, as autoclaves são amplamente utilizadas para o tratamento térmico de produtos hermeticamente embalados, líquidos envasados, produtos enlatados, dentre outros. Para garantir a segurança do alimento, usualmente tem-se os microrganismos *Geobacillus stearothermophilus* e *Clostridium botulinum* como indicadores biológicos de qualidade, ou seja, a ausência dos seus esporos após o tratamento é equivalente ao sucesso do procedimento, visto que são microrganismos altamente termotolerantes (GAO; JU; JIANG, 2006).

A transferência de calor, dentro de uma autoclave, pode ocorrer pelos fenômenos denominados condução e/ou convecção. O primeiro consiste na transferência de partículas que estão em contato direto, ou seja, elétrons livres da molécula mais energética são transferidos para uma energeticamente inferior, e é mais comum ocorrerem em alimentos sólidos. Na convecção por sua vez, ocorre a troca de calor com a presença de movimento de um fluido, e comumente advém em alimentos com maior presença de água (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Acontece que durante o processo térmico, a temperatura do alimento não é igual em todos os pontos. A parte com menor temperatura é denominada ponto frio, ou seja, é o ponto que mais irá demorar para receber energia térmica. Por esse motivo, se faz necessário um estudo de penetração de calor, que se baseie em estudos e cálculos de tempo e temperatura necessário, levando em consideração a viscosidade do produto e a embalagem em que o mesmo se encontra (ALMEIDA, 2012).

Para isso, cálculos de taxa de letalidade se fazem necessários quando se entende que a relação do binômio tempo/temperatura e o número de microrganismos presente no alimento, são responsáveis pela eficiência do processo térmico. Assim, o entendimento sobre microrganismos e o produto a ser esterilizado é de suma importância para o processo (ALMEIDA, 2012).

Com o intuito de obter os valores corretos do binômio da esterilização de cada produto, alguns parâmetros e conceitos precisam ser adotados, tal como o valor D , onde representa o tempo necessário para a redução de um ciclo logarítmico (90%) dos microrganismos presentes. Paralelo a isso, tem-se o parâmetro SV , que é adimensional, o qual condiz com o grau de esterilização sobre a população microbiana presente, e é dependente da variável N , que se refere ao número de microrganismos viáveis (N_0 refere-se a variável no tempo inicial; $t = 0$). Além, o valor de F corresponde

ao tempo para que a troca térmica se faz necessária para obter o valor de SV . Todos esses parâmetros podem ser elucidados na equação 1 (TADINI *et al.*, 2015).

$$F = -\log\left(\frac{N}{N_0}\right) D = SV * D \quad (1)$$

Afim de garantir a dependência de D em relação a temperatura, visto que em um processo industrial a última não é constante, o parâmetro z representa o intervalo de temperatura necessário para mudar o valor de D . Tal relação é facilmente explanada pela equação 2:

$$\log\left(\frac{D}{D_{ref}}\right) = -\frac{(T-T_{ref})}{z} \quad (2)$$

Para o cálculo da letalidade térmica de um indicador F_0 define-se como o tempo, na temperatura de referência $T_{ref} = 121,1$ °C e D na mesma temperatura, para o cálculo de SV como expresso pelas equações 3 e 4:

$$\log\left(\frac{F}{F_0}\right) = -\frac{(T_{ref}-T)}{z} \quad (3)$$

$$F_0 = SV D_{ref} \quad (4)$$

Condensando, podemos sintetizar que é possível determinar o tempo necessário de um tratamento térmico (F) afim que o produto atinja o valor de esterilização (SV) necessário.

3.5 Suco de laranja

Intitulado e definido pela Instrução normativa nº 37 do MAPA (BRASIL, 2018), o suco da laranja (*Citrus sinensis*) é tido como produto oriundo, por processo tecnológico adequado, da parte comestível da laranja. Ademais, a Instrução normativa estabelece padrões para a composição do produto, conferindo qualidade ao mesmo.

De acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2021), estima-se que a produção global de laranja de 2020/21 ultrapasse a produção do ano anterior, 2019/20, em 2,5 milhões de toneladas. O departamento ainda cita que a produção no Brasil deverá aumentar em mais de 7%. O Brasil é categorizado como o maior produtor de suco de laranja e na produção de 2020/21 apresenta uma projeção de aumento na produção de 13%, onde o país já corresponde a três quartos das exportações globais do produto.

Consoante que o suco de laranja é um produto ácido e que a acidez é usada há alguns séculos como agente conservante, o uso de um tratamento térmico moderado é suficiente para a redução da carga microbiana e a inativação das enzimas que não são controladas com a barreira do pH. Um tratamento moderado não ultrapassa a temperatura de 100 °C e nesse caso podemos defini-lo como sendo a pasteurização (FDA, 2016).

Sabendo da característica ácida do produto e as barreiras que a mesma impõe ao crescimento de microrganismos patogênicos, o foco do processamento térmico do suco de laranja está na inativação de microrganismos deteriorantes e na inativação enzimática da enzima pectinesterase (PM), também conhecida como pectinametilesterase. Por apresentar uma resistência térmica maior que os microrganismos deteriorantes, a PM é usada como indicador e como base para os parâmetros térmicos nos quais o suco será submetido (AMARO, 2020).

Shigeoka (1999) cita e Matche (2018) corrobora que a utilização de embalagens de polímeros para o armazenamento de suco de laranja, ressaltando sua resistência a impactos, flexibilidade e possibilidade de variação de formatos. Mas também explana as séries de vantagens da embalagem metálica para o armazenamento do produto, visto que evita o contato do produto com a luz e resiste ao tratamento térmico, apesar de seu uso não ser difundido no Brasil como alternativa para o envase de sucos.

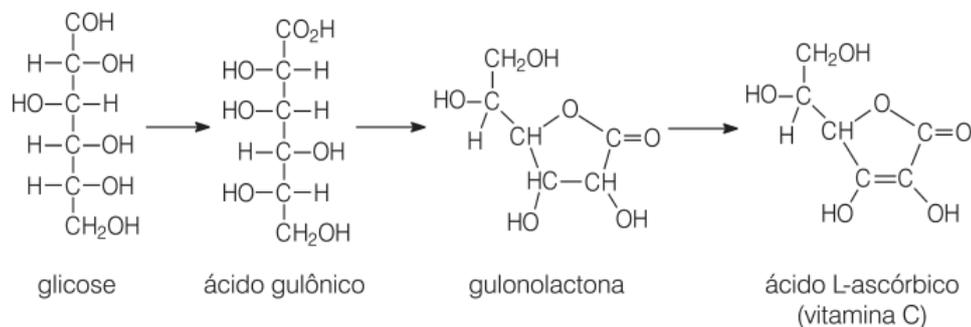
3.6 Vitamina C

Vitaminas são descritas como um grupo de nutrientes orgânicos que devem ser fornecidos através de dieta, visto que não podem ser sintetizadas pelo organismo. As mesmas podem ser classificadas em vitaminas lipossolúveis, onde possuem propriedades hidrofóbicas, ou em vitaminas hidrossolúveis. Apesar dessa

classificação geral, cada vitamina apresenta características e propriedades únicas, descritas na literatura (RODWELL *et al.*, 2017).

De acordo com Amel (2017), vitamina C é o termo generalizado para referir-se aos compostos que possuem atributos do ácido ascórbico e possui fórmula química $C_6H_8O_6$ derivado da glicose (Figura 3). Além de ser um micronutriente popularmente conhecido e responsável pela prevenção do escorbuto, a vitamina C é tida como o antioxidante encontrado em abundância, pois é facilmente encontrado no reino vivo e reage facilmente como um agente redutor.

Figura 3 - Síntese de Vitamina C



Fonte: Fiorucci; Soares; Cavalheiro (2003)

A vitamina em questão também é conhecida por ser lábil, pois pode ser facilmente degradada quimicamente, já que além de ser hidrossolúvel, a mesma possui sensibilidade ao calor, luz, oxigênio, íons metálicos e a acidez. Por apresentar características que dificultam sua permanência durante o processamento de um alimento, mantê-la é um dos principais obstáculos da indústria (MESQUITA, 2019).

Em alimentos, a vitamina C é facilmente encontrada em frutas cítricas, como acerola, laranja, kiwi, dentre outros. Pode ser encontrada em vegetais, onde sua estabilidade é um pouco comprometida quando comparado às frutas, reflexo da baixa acidez. A concentração em cada alimento não é claramente definida, visto que as circunstâncias de plantio, crescimento, maturação, tratamento pós-colheita e processamento são variantes que interferem na mesma (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

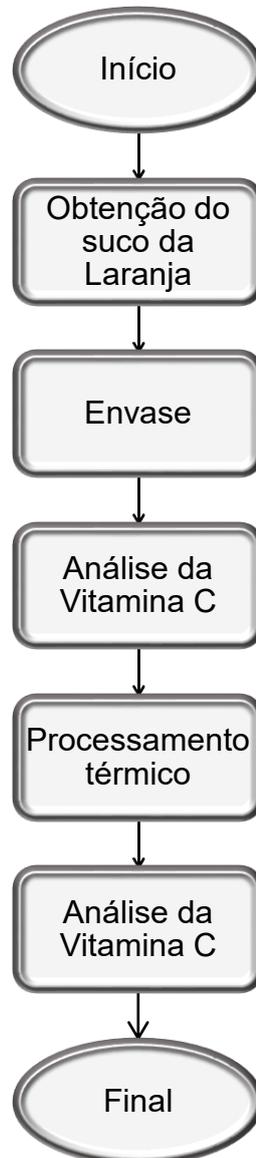
Na indústria, a dificuldade de garantir um alimento microbiologicamente seguro, com qualidades sensoriais e nutricionais é uma realidade diária, principalmente quando se trata de vitamina C. Diante do exposto, o estudo da

permanência deste micronutriente presente em sucos de laranja após uma pasteurização, com a adição de calor úmido, é o tema abordado no presente trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O fluxograma do processo pode ser identificado através da Figura 4 a seguir:

Figura 4 - Fluxograma da análise da estabilidade da vitamina C com o uso de tratamento térmico



Fonte: Autoria própria (2021)

4.1 Suco de laranja

O suco de laranja foi adquirido em comércio local do município de Campinas-SP. O intervalo de tempo entre o início da fabricação do suco até o início de seu manuseio no laboratório do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), fora inferior a

1 hora, visto que o comércio se localiza a menos de 100 metros do mesmo. Detalhes como produção do suco, suas condições de obtenção e a condição de sua retirada, foram previamente acordados com os trabalhadores do comércio. O processamento do suco se deu no laboratório de engenharia de processos do ITAL onde o mesmo fora homogeneizado, filtrado grosseiramente e em seguida envasado em garrafas plásticas e latas, contendo 210 mL e 270 mL respectivamente. Para análises posteriores, amostras do suco de laranja sem processamento térmico foram reservadas.

4.2 Determinação do ácido ascórbico (vitamina C)

O método de Tillmans foi o escolhido para a determinação vitamina C, visto que é amplamente aplicado para a determinação deste micronutriente em sucos de frutas. Como o Instituto Adolfo Lutz (2008) descreveu, previamente foram preparadas: Solução ácida, Solução-padrão de vitamina C, Solução-padrão de vitamina C diluída, Solução de Tillmans, onde a última foi padronizada de acordo com a equação 5, em que F = fator da solução.

$$F = \frac{\text{mg de vitamina c usados na titulação}}{\text{mL de solução de Tillmans gastos}} \quad (5)$$

Para a determinação do ácido ascórbico, filtrou-se as amostras de suco de laranja. Adicionou 10 mL do filtrado em 10 mL de solução ácida. Na sequência, a solução fora agitada, filtrada para que fosse titulada 10 mL de tal solução com a solução Tillmans. Um branco fora preparado com 10 mL de solução ácida com a adição de 10 mL de água e então titulada com a solução Tillmans.

A equação 6 elucida como o valor de ácido ascórbico é contabilizado. Onde V = volume final, F = fator da solução e A = mL da amostra utilizada.

$$\frac{V*F*100}{A} = \text{Ácido Ascórbico, em } \mu\text{g}/100\text{g} \quad (6)$$

A determinação do ácido ascórbico se deu em amostras antes e depois do processamento térmico, em triplicata.

4.3 Processamento térmico

A pasteurização se deu em uma autoclave piloto de um cesto, da marca Steriflow® (Figura 5), onde previamente estabeleceu-se duas temperaturas de operação (90 °C e 85 °C) com base no estudo de Tribess (2003) e Matos (2021). Além, como explicitado anteriormente, as amostras foram armazenadas em duas embalagens, garrafas plásticas e latas. As combinações das variáveis estão dispostas na Tabela 1.

Figura 5 - Autoclave piloto de um cesto, marca Steriflow®



Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 1 – Modos de operação da autoclave

| Batelada | Temperatura (°C) | Embalagem | Unidade de amostras |
|----------|------------------|------------------|---------------------|
| 1 | 90 | Garrafa plástica | 3 |
| 2 | 85 | Garrafa plástica | 3 |
| 3 | 90 | Lata | 3 |
| 4 | 85 | Lata | 3 |

Fonte: Autoria própria (2021)

A autoclave em questão, separa o processamento térmico em 4 etapas: Aquecimento; Patamar, período onde a pressão e temperatura são constantes; Arrefecimento 1, período de resfriamento com água da torre de resfriamento; Arrefecimento 2, período de resfriamento com água proveniente de um *chiller*. Os valores pré-estabelecidos para cada temperatura são expressos na Tabela 2, onde o tempo de patamar foi estabelecido em tempo real, durante a pasteurização.

Tabela 2 – Parâmetros pré-estabelecidos para cada fase do processamento térmico

| Parâmetros | Aquecimento | Patamar | Arrefecimento 1 | Arrefecimento 2 |
|-------------------|--------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Temperatura (°C) | Até 90 | 90 | Até 40 | Até 35 |
| Pressão (bar) | Até 0,5 | 0,5 | 0,5 | Até 0,0 |
| Tempo (minutos) | 6 | Variável | 7 | 3 |

Fonte: Autoria própria (2021)

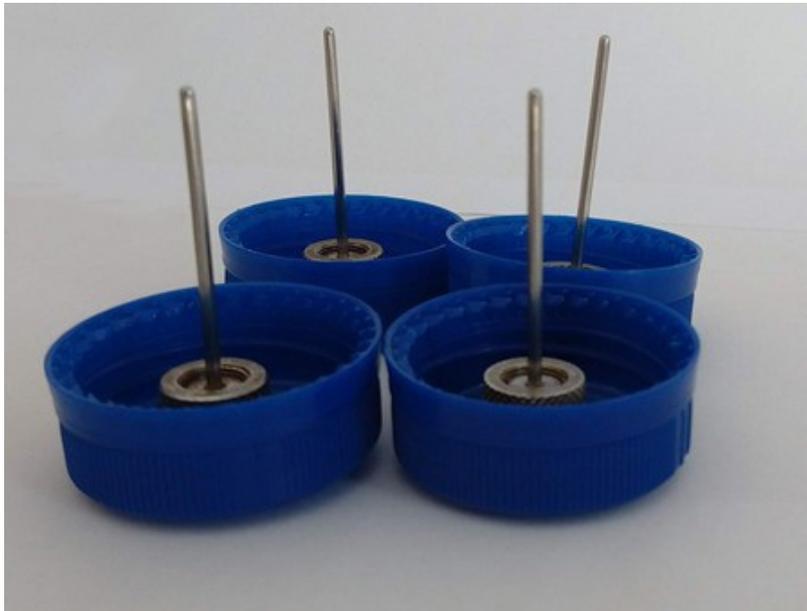
A fim de garantir um processamento térmico efetivo, sensores de penetração de calor da marca ELLAB® se fizeram necessários, dos quais garantiu-se o cálculo da letalidade, em tempo real, através de um sistema de validação térmica pelo *software* ValSuite®. Para o uso dos sensores, as embalagens foram instrumentadas como demonstram as Figuras 6 e 7.

Figura 6– Instrumentação das latas para ensaio de penetração de calor



Fonte: A autoria própria (2021)

Figura 7– Instrumentação das garrafas para ensaio de penetração de calor



Fonte: A autoria própria (2021)

Os poços, assim chamados os objetos da instrumentação, são localizados no ponto frio da embalagem, ou seja, no ponto onde o aquecimento é mais lento. De acordo com o FDA (2016) em produtos convectivos, como é o caso do suco de laranja,

o ponto frio está localizado na intersecção do centro radial da embalagem com altura de um terço da mesma. As Figuras 8 e 9 exemplificam tal critério.

Figura 8 – Instrumentação das latas em seu ponto de aquecimento mais lento



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 9 – Instrumentação das garrafas em seu ponto de aquecimento mais lento



Fonte: Autoria própria (2021)

A garrafa foi processada de ponta cabeça, visto que não havia poços com a altura suficiente para atingir a marca de 1/3 da embalagem, quando a mesma se encontrava em posição normal. Logo, a quantidade de suco utilizada fora baseada na altura do poço em questão. Após a instrumentação as embalagens foram envasadas

nas quantidades previamente explanadas e em prossecução as mesmas foram fechadas (Figura 10 e 11). As latas por sua vez, foram recravadas utilizando vácuo.

Figura 10 – Latas instrumentadas, envasadas e fechadas



Fonte: Autorial própria (2021)

Figura 11– Garrafas instrumentadas, envasadas e fechadas



Fonte: Autorial própria (2021)

A distribuição das embalagens no cesto da autoclave e a utilização de sensores de temperatura são elucidados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 – Latas posicionadas no cesto da autoclave com sensor de temperatura acoplado



Fonte: Aatoria própria (2021)

Figura 13 – Garrafas posicionadas no cesto da autoclave com sensor de temperatura acoplado.



Fonte: Aatoria própria (2021)

Para a letalidade e conseqüentemente o tempo de processamento, os dados representados na Figura 14 foram utilizados como referência para a determinação dos mesmos. A Tabela 3, retirada do livro *Acidified Foods Manufacturing School* (FDA, 2016), demonstra letalidades recomendadas para produtos ácidos baseados no pH. De acordo com o pH da amostra a letalidade de 0,5 fora escolhida com um $Z = 8,9$ e uma temperatura de referência de $93,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabela 3 - Letalidades recomendadas para produtos ácidos

| pH | $F_{93,3}^{8,9}$ °C |
|-----------|---------------------|
| 4,4 – 4,5 | 20,0 |
| 4,3 – 4,4 | 10,0 |
| 4,2 – 4,3 | 5,0 |
| 4,1 – 4,2 | 2,5 |
| 4,0 – 4,1 | 1,0 |
| 3,9 – 4,0 | 0,5 |
| 3,9 | 0,1 |

Fonte: Adaptado de FDA (2016)

4.4 Análise estatística

Os dados foram sujeitos à Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey com o auxílio do *software* STATISTICA® versão 10.0 (StatSoft. Inc., Tulsa, USA), com os resultados exibidos como média \pm desvio padrão, além de apresentarem um nível de significância de 95%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Processamento térmico

O processamento térmico com temperaturas, letalidade, pressão previamente estabelecidas, fora concluído de acordo com o tempo mínimo necessário para atingir a letalidade durante a etapa do patamar. Com a letalidade necessária atingida e indicada pelo *software* ValSuite®, o tempo de patamar foi encerrado dando início ao resfriamento. O processamento das garrafas se deu no dia 1 e das latas no dia 2.

5.1.1 Tempo real de processamento térmico

Apesar de ter os parâmetros pré-estabelecidos, como foi demonstrado na Tabela 2, a autoclave da Steriflow® emite ao final do processo, um relatório do processamento real onde tempo, temperatura e pressão são explanados. As Figuras 14 a 18, ilustram parte de tais relatórios.

Figura 14 – Parâmetros reais da pasteurização à 90 °C de suco de laranja, envasado em garrafas plásticas

| Tipo | Regulação | | | Início: | Fim: | Dur fase |
|-----------------|-----------|------|-------|----------|----------|----------|
| | °C | Bar | min | | | |
| Aquecim | 90.00 | 0.50 | 6.00 | 11:58:13 | 12:04:18 | 00:06:05 |
| Patam | 90.00 | 0.50 | 20.00 | 12:04:18 | 12:21:19 | 00:17:00 |
| Arrefecimento 1 | 40.00 | 0.50 | 7.00 | 12:21:19 | 12:29:59 | 00:08:40 |
| Arrefecimento 2 | 35.00 | 0.00 | 3.00 | 12:29:59 | 12:33:01 | 00:03:02 |

Fonte: Retirado no relatório gerado pela autoclave Steriflow® (2021)

Figura 15 – Parâmetros reais da pasteurização à 85 °C de suco de laranja, envasado em garrafas plásticas

| Tipo | Regulação | | | Início: | Fim: | Dur fase |
|-----------------|-----------|------|-------|----------|----------|----------|
| | °C | Bar | min | | | |
| Aquecim | 85.00 | 0.50 | 6.00 | 15:07:27 | 15:13:27 | 00:06:00 |
| Patam | 85.00 | 0.50 | 40.00 | 15:13:27 | 15:36:43 | 00:23:15 |
| Arrefecimento 1 | 40.00 | 0.50 | 7.00 | 15:36:43 | 15:45:04 | 00:08:21 |
| Arrefecimento 2 | 35.00 | 0.00 | 3.00 | 15:45:04 | 15:48:06 | 00:03:01 |

Fonte: Retirado no relatório gerado pela autoclave Steriflow® (2021)

Figura 16 – Parâmetros reais da pasteurização à 90 °C de suco de laranja, envasado em latas à vácuo

| Tipo | Regulação | | | Início: | Fim: | Dur fase |
|-----------------|-----------|------|-------|----------|----------|----------|
| | °C | Bar | min | | | |
| Aquecim | 90.00 | 0.50 | 6.00 | 10:15:00 | 10:21:05 | 00:06:05 |
| Patam | 90.00 | 0.50 | 40.00 | 10:21:05 | 10:27:33 | 00:06:28 |
| Arrefecimento 1 | 40.00 | 0.50 | 7.00 | 10:27:33 | 10:36:08 | 00:08:35 |
| Arrefecimento 2 | 35.00 | 0.00 | 3.00 | 10:36:08 | 10:39:08 | 00:03:00 |

Fonte: Retirado no relatório gerado pela autoclave Steriflow® (2021)

Figura 17 – Parâmetros reais da pasteurização à 85 °C de suco de laranja, envasado em latas à vácuo

| Tipo | Regulação | | | Início: | Fim: | Dur fase |
|-----------------|-----------|------|-------|----------|----------|----------|
| | °C | Bar | min | | | |
| Aquecim | 85.00 | 0.50 | 6.00 | 12:52:53 | 12:58:56 | 00:06:03 |
| Patam | 85.00 | 0.50 | 40.00 | 12:58:56 | 13:11:29 | 00:12:33 |
| Arrefecimento 1 | 40.00 | 0.50 | 7.00 | 13:11:29 | 13:19:53 | 00:08:24 |
| Arrefecimento 2 | 35.00 | 0.00 | 3.00 | 13:19:53 | 13:22:57 | 00:03:04 |

Fonte: Retirado no relatório gerado pela autoclave Steriflow® (2021)

A duração do tempo de patamar, ou seja, o tempo mínimo para atingir a letalidade de 0,5 requerida e o tempo do ciclo completo de processamento são descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempos de patamar e total de processamento

| Temperatura (°C) | Embalagem | Tempo de patamar (min.) | Tempo total de processamento (min.) |
|------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------|
| 90 | Garrafa | 17,00 | 34,80 |
| 85 | Garrafa | 23,25 | 40,65 |
| 90 | Lata | 6,47 | 24,13 |
| 85 | Lata | 12,55 | 30,07 |

Fonte: Autoria própria (2021)

A diferença do tempo patamar entre o processamento de diferentes embalagens com a mesma temperatura pode ser explicado pelo tipo de material das

mesmas, visto que as latas apresentam maior condutividade térmica e por isso a troca de calor do meio com o alimento é mais rápida.

Callister e Rethwisch (2016), discorrem sobre a condutividade térmica ser maior nos metais do que nos polímeros. Explicam que os primeiros são bons condutores de calor, visto que há uma grande disponibilidade de elétrons para participar da transferência, por isso podem chegar a 400 W/m·K, enquanto os polímeros atuam na ordem de 0,3 W/m·K. Reforçam sobre os polímeros serem frequentemente empregados como isolantes térmicos devido a essa característica.

5.1.2 Letalidade

A letalidade de 0,5 requerida, no ponto mais frio do produto, pode ser comprovada pelo relatório gerado pelo *software* ValSuite® após cada processamento térmico. As Figuras 18 a 22, expõe a letalidade atingida durante o patamar, intitulado pelo *software* como tempo de exposição e durante o resfriamento.

Figura 18 – Letalidade atingida na pasteurização à 90 °C de suco de laranja, envasado em garrafas plásticas

| Valor da Letalidade em Tempo de Aquecimento | Valor da Letalidade em Tempo de Exposição | Valor da Letalidade em Tempo de resfriamento |
|---|---|--|
| 0,0 | 0,5 | 0,4 |

Fonte: Retirado no relatório gerado pelo *software* ValSuite® (2021)

Figura 19 – Letalidade atingida na pasteurização à 85 °C de suco de laranja, envasado em garrafas plásticas

| Valor da Letalidade em Tempo de Aquecimento | Valor da Letalidade em Tempo de Exposição | Valor da Letalidade em Tempo de resfriamento |
|---|---|--|
| 0,0 | 0,5 | 0,2 |

Fonte: Retirado no relatório gerado pelo *software* ValSuite® (2021)

Figura 20 – Letalidade atingida na pasteurização à 90 °C de suco de laranja, envasado em latas à vácuo

| Valor da Letalidade em Tempo de Aquecimento | Valor da Letalidade em Tempo de Exposição | Valor da Letalidade em Tempo de resfriamento |
|---|---|--|
| 0,0 | 0,5 | 0,4 |

Fonte: Retirado no relatório gerado pelo *software* ValSuite® (2021)

Figura 21 – Letalidade atingida na pasteurização à 85 °C de suco de laranja, envasado em latas à vácuo

| Valor da Letalidade em Tempo de Aquecimento | Valor da Letalidade em Tempo de Exposição | Valor da Letalidade em Tempo de resfriamento |
|---|---|--|
| 0,0 | 0,5 | 0,2 |

Fonte: Retirado no relatório gerado pelo software ValSuite® (2021)

A letalidade é um parâmetro dependente do binômio tempo/temperatura. Avaliando os tempos expostos na Tabela 3 e as letalidades ilustradas nas Figuras acima, conseguimos perceber a relação dos mesmos. Tal fenômeno é explicado e demonstrado a partir das correlações dos parâmetros que Stumbo (1949) faz em seu estudo, onde o mesmo esclarece que quando avaliamos o cálculo da letalidade, observamos a influência dos fatores tempo e temperatura nos valores de *F* e *Z*.

5.2 Determinação de ácido ascórbico (vitamina C)

Na amostra coletada antes do processamento térmico do suco de laranja para *in natura*, o valor referente ao ácido ascórbico foi de $52,57 \pm 0,10$ mg/100 mL. O valor calculado encontra-se entre as quantidades de vitamina C de 52,8 mg/100 mL e 69,7 mg/100 mL explanados no trabalho de Fonseca e Petean (2018) e Tribess (2003) respectivamente. De acordo com a literatura essa variação é normal, pois região, solo, clima e época do ano são alguns parâmetros que podem interferir no teor de ácido ascórbico da fruta em questão. As quantidades do micronutriente após processamento térmico e a porcentagem de perda, são expressas na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade de ácido ascórbico após pasteurização do suco de laranja

| Batelada | Temperatura (°C) | Embalagem | Ácido ascórbico (mg/100 mL) | Tempo total de processamento (min.) | Quantidade perdida (%) |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 1 | 90 | Garrafa plástica | $43,86 \pm 0,14$ | 34,80 | 16,57 |
| 2 | 85 | Garrafa plástica | $42,95 \pm 0,16$ | 40,65 | 18,30 |
| 3 | 90 | Lata | $51,24 \pm 0,08$ | 24,13 | 2,53 |
| 4 | 85 | Lata | $49,57 \pm 0,14$ | 30,07 | 5,71 |

Fonte: A autoria própria (2021)

A partir da Tabela 5 identifica-se que nas bateladas 2 e 3 houve a menor e maior retenção de vitamina C. Lo scalzo *et al.* (2004), compararam o teor de ácido ascórbico antes e depois da pasteurização contínua e obteve uma perda de 4% do teor inicial, enquanto que Fonseca e Petean (2018) apresentaram uma retenção de 78,4% de ácido ascórbico após processamento térmico. Além do presente ensaio ser um processamento térmico em batelada e não em processo contínuo, Fravet (2006) explana que o processamento térmico com o uso da autoclave de cascata de água é um processo menos invasivo e indicado a alimentos sensíveis, como é o caso do suco de laranja e sua vitamina lábil. Fato esse que pode explicar a perda de apenas 2,53% de vitamina C no processamento do produto envasado na Lata a vácuo sob a temperatura de 90 °C.

5.2.1 Processamento térmico *versus* estabilidade do ácido ascórbico

Com o auxílio das Tabelas 4 e 5 é possível fazer uma relação com a retenção da vitamina C após processamento térmico com os parâmetros temperatura, tempo e embalagem.

Quando nos referimos ao binômio tempo/temperatura, avalia-se que em ambas embalagens, quando a temperatura é maior, o tempo requerido para atingir a letalidade de 0,5, é menor. Além, o estudo demonstra que apesar de submeter um produto a uma temperatura superior, o processo garante menor perda de ácido ascórbico.

Nas embalagens plásticas a perda foi bem maior, e isso pode estar relacionado a sua condutividade térmica que implicou em um maior tempo de processamento e sua transparência, visto que a vitamina C é sensível ao calor e a luz, como confirma Mesquita (2019). Shigeoka (1999) por sua vez menciona que embalagens metálicas podem apresentar bons resultados no envase de suco, fato esse confirmado pela estabilidade apresentada pelo micronutriente nas bateladas 3 e 4.

5.2.2 Análise estatística

O teor de ácido ascórbico de cada triplicata e de cada batelada foi utilizado como variável dependente da temperatura e da embalagem durando a análise de variância (ANOVA). Os dados são expressos na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de variância aplicada nos valores obtidos de ácido ascórbico sob os efeitos das variáveis, suas interações e significância ($p \leq 0,05$)

| Fonte da variação | Soma dos quadrados | Graus de liberdade | Média dos quadrados | Razão F | Valor P |
|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------|----------|
| Temperatura | 4,9592 | 1 | 4,9592 | 76,291 | 1,09E-05 |
| Embalagem | 147,0000 | 1 | 147,0000 | 2261,407 | 4,03E-12 |
| Erro | 0,5850 | 9 | 0,0650 | | |

Fonte: Aatoria própria (2021)

O valor de $p \leq 0,05$ nas duas variáveis expressas na Tabela 6 acima, demonstra que estatisticamente há uma significativa interferência da temperatura e da embalagem na estabilidade da vitamina C, condizendo com a discussão anterior. Os teores de ácido ascórbico por titulação são expressos na Tabela 7, onde a menor média se deu no ensaio com a garrafa plástica, na temperatura de 85 °C e a maior média no ensaio com a lata na temperatura de 90 °C, a diferença das médias é afirmada pelo teste de Tukey. Além, efetuou-se a análise de correlações das variáveis confirmando as relações significativas dos parâmetros, o fato é demonstrado na Tabela 8.

Tabela 7 – Quantidade de ácido ascórbico após processamento térmico com diferentes parâmetros.

| Batelada | Temperatura (°C) | Embalagem | Ácido Ascórbico (mg/100mL) |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------|
| 1 | 90 | Garrafa plástica | 43,86 ^b ± 0,1428 |
| 2 | 85 | Garrafa plástica | 42,95 ^a ± 0,1649 |
| 3 | 90 | Lata | 51,24 ^d ± 0,0825 |
| 4 | 85 | Lata | 49,57 ^c ± 0,1428 |

Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

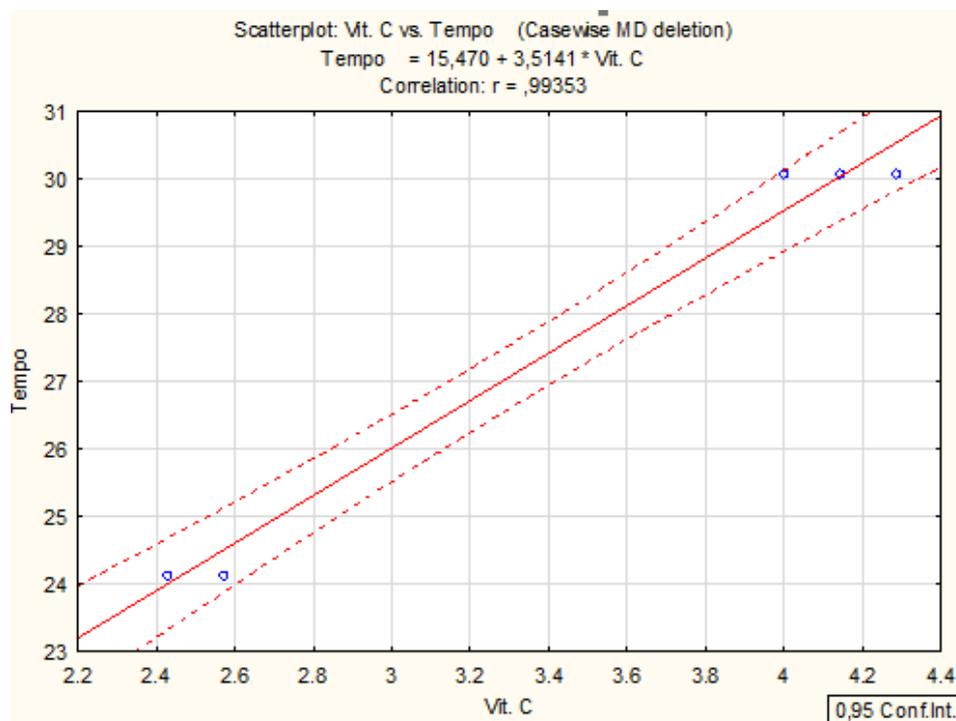
Fonte: Aatoria própria (2021)

Tabela 8 – Correlações entre variáveis. Correlações marcadas são significativas em $p < 0,05$

| | Temperatura | Embalagem | Tempo | Ácido ascórbico |
|-----------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| Temperatura | 1,000000 | 0,000000 | -0,484941 | -0,180305 |
| Embalagem | 0,000000 | 1,000000 | 0,874540 | 0,981659 |
| Tempo | -0,484941 | 0,874540 | 1,000000 | 0,946121 |
| Ácido Ascórbico | -0,180305 | 0,981659 | 0,946121 | 1,000000 |

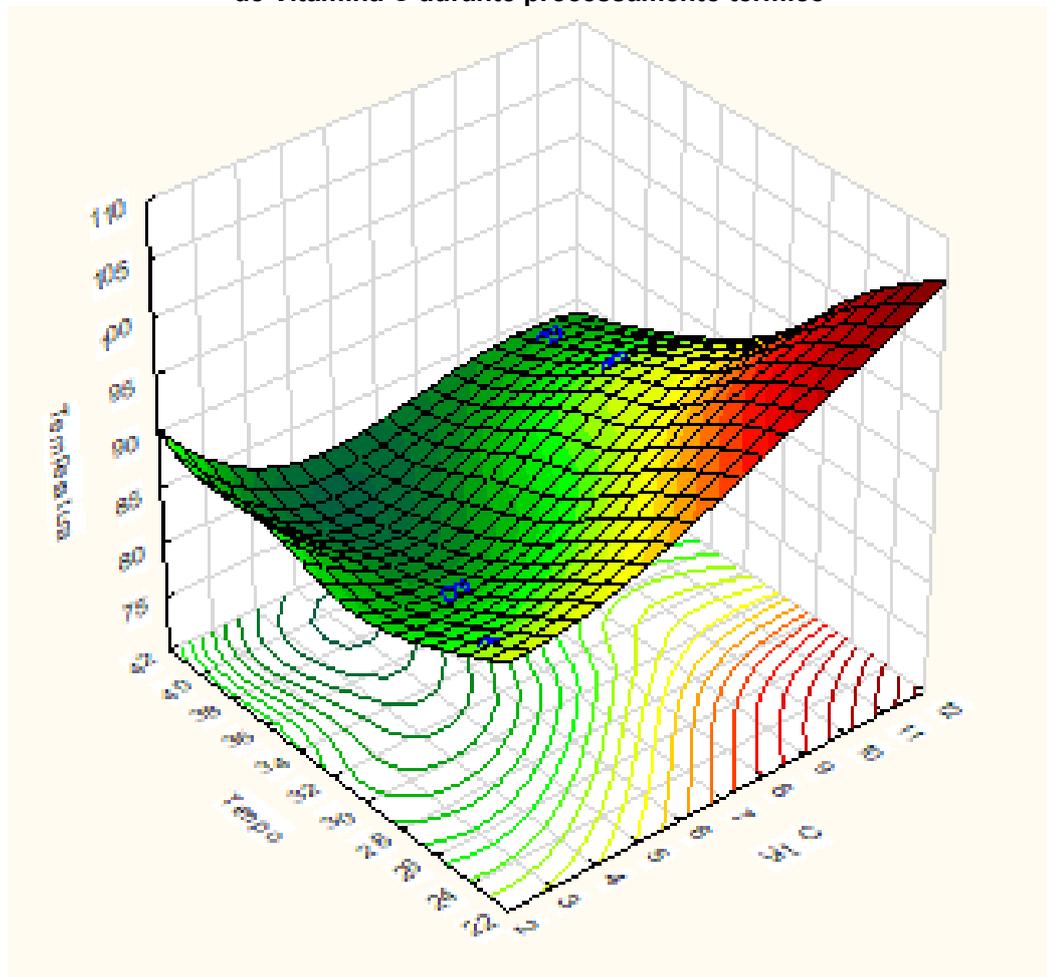
Fonte: Autoria própria (2021)

As Figuras 22 e 23 demonstram os gráficos do comportamento da perda de vitamina C mediante ao parâmetro tempo e mediante ao binômio tempo/temperatura, respectivamente, onde estatisticamente confirma a teoria que no presente ensaio, aumento do tempo reduz o teor do micronutriente é reduzido.

Figura 22 – Gráfico da relação tempo versus teor de ácido ascórbico perdido

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 23 – Gráfico de superfície de resposta dos efeitos da temperatura e tempo sob a perda de Vitamina C durante processamento térmico



Fonte: Autoria própria (2021).

6 CONCLUSÕES

O emprego de uma autoclave sobrepessão na pasteurização do suco de laranja, garantiu resultados satisfatórios quanto ao teor de ácido ascórbico retido após o processamento térmico, com valores acima da literatura (97,47% de retenção). Contudo, outros parâmetros empregados apresentaram influência significativa na estabilidade da mesma.

O binômio tempo/temperatura, através dos resultados adquiridos, ratificou que o uso de altas temperaturas pode configurar um método muito mais eficiente em manter as características nutricionais dos produtos, do que a escolha de um processamento térmico com temperaturas mais amenas.

Ademais, a diferença dos teores encontrados após pasteurização do suco de laranja em diferentes embalagens, denota que o uso de embalagens metálicas deveria ser mais difundido no Brasil. Além de apresentarem melhor condutividade térmica, as mesmas mantêm o produto sob o abrigo da luz.

Considerando o exposto, como sugestão para trabalhos futuros seria interessante testar o uso de embalagens diferentes e realizar a comparação de duas autoclaves operadas por fluidos distintos. Ambas ideias poderiam ser aplicadas a diferentes produtos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. **Validação do Processo de Esterilização de Refeições Prontas a Comer Enlatadas**. Relatório de estágio (Mestrado em Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar) - Instituto Politécnico de Leiria. Portugal, 2012.
- AMARO, Kaiky César. **Efeito do tratamento térmico assistido por micro-ondas focalizadas sobre a inativação enzimática, retenção da vitamina C e cor do suco de laranja pera (Citrus sinensis L. Osbeck)**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2020. DOI:10.11606/D.3.2020.tde-19052021-163232. Acesso em: 16 out. 2021
- AMEL, B. *Mesure de la vitamine C et de l'activité anti-radicalaire et anti-oxydante des citroflavonoïdes de l'écorce du citron*. **Tlemcen**, Université Abou Bekr Belkaid, 2017. Disponível em: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/12283/1/BOUCHACHIA.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2021
- BARROS, D. M., et al. Principais Técnicas de Conservação dos Alimentos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 806-821, jan. 2020. DOI:10.34117/bjdv6n1-056.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 37, de 1 de outubro de 2018. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. União, Brasília, 08 out. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/44304943/do1-2018-10-08-instrucao-normativa-n-37-de-1-de-outubro-de-2018-44304612. Acesso em: 02 out. 2021.
- CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D.G. **Ciência e Engenharia dos Materiais – Uma Introdução**. Editora LTC, 9ª Edição, Rio de Janeiro, 2016.
- EMBRAPA. **Fundamentos de Estabilidade de Alimentos**. 2. Ed. Brasília. Embrapa, 2012. p.129-150. ISBN: 9788570351210.
- FDA - **Acidified Foods Manufacturing School**, National Food Safety Program, 146 p., 2016.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. p.50-62. ISBN 9788582715260.
- FIORUCCI, A. R., SOARES, M. H. F. B., CAVALHEIRO, E. T. G. A importância da vitamina C na sociedade através dos tempos. **Química Nova na Escola**, 2003.
- FRAVET, F. F. M. F. **Modelagem e simulação do processo de esterilização térmica em batelada de vegetais em conserva**. Tese (Mestre em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2006.
- FONSECA, N. C., PETEAN, P. G. C. Determinação dos parâmetros cinéticos de degradação da vitamina c em suco de laranja. **Rev. Bras. de Iniciação Científica**

(RBIC), Itapetininga, v. 5, n.3, p. 46-59, abr./jun., 2018. Disponível em: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/732/918> Acesso em: 08 dez 2021.

GAO, Y., JU, X., E JIANG, H. Analysis of reduction of *Geobacillus stearothermophilus* spores treated with high hydrostatic pressure and mild heat in milk buffer. **Journal of Biotechnolog**, 2006. p. 151-360. DOI: 10.1016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. (2008). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. Ed. São Paulo: Insituto Adolfo Lutz.

LEISTNER, L.; GOULD, G. W. **Hurdle technologies**: combination treatments for food stability, safety and quality. London: Kluwer Academic/Plenum Publishers. 2002.

LOPES, R. L. T. Conservação de alimentos. **Dossiê Técnico**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais: CETEC, 2007. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/>. Acesso em: 27 fev. 2021.

LO SCALZO R, Iannocari T, Summa C, Morelli R, Rapisarda P. **Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice**. Food Chem 2004. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814603003303?casa_token=cLsweTADR9QAAAAA:D3V5gI9Tu21FBELAZTwnfWvmvbbbPGFA7ImwydVMpx80xbp8qSXm7AYalUu6Bvg37iAbnldPX-I. Acesso em: 01 nov. 2021

MARZAGÃO, A.R. **Estudo da automação do processo de esterilização da autoclave vertical**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2004.

MATCHE, R.S. **Packaging technologies for fruit juices**. Fruit Juices. Elsevier Science, Reino Unido, p. 637–666, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00032-1>.

MATOS, T. R. B. **Roteiro de gestão no processo de produção de suco de laranja**. Tese (Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Araraquara, 2021. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/202776/mattos_trb_me_arafcf_int_Sub.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Acesso em 08 dez 2021.

MESQUITA, R. I. A. **A vitamina C na Periodontia**. Tese (Mestre em Medicina Dentária) - Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Fernando Pessoa. Porto, 2019.

PANDOLFI, I.A.; MOREIRA, L.Q.; TEIXEIRA, E.B. Segurança alimentar e serviços de alimentação-revisão de literatura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 42237-42246, jul. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-002.

RAIMUNDO E., et al. Cor, viscosidade e bactérias lácticas em suco de laranja pasteurizado e submetido ao efeito da luz durante o armazenamento. *Alim. Nutr.*, Araraquara v.18, n.4, p. 449-456, out./dez. 2007.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Blusher, 2007. p.170-183.

RODWELL, V. W., et al. **Bioquímica Ilustrada de Harper**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2017. p.546-562. ISBN 0071825347 / 9780071825344.

RONCADA, M.J.; WILSON D.; SUGUIMOTO L. Concentração de ácido ascórbico em sucos de diversas frutas brasileiras e sua relação com preço e necessidades diárias recomendadas de vitamina C. **Revista Saúde Pública**, v. 11, p. 39-46, 1977. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/rsp/1977.v11n1/39-46/> Acesso em: 01 set. 2021.

ROÇA, R.O. **Tratamento Térmico**. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca110.pdf> Acesso em: 01 mar 2021.

SHIGEOKA, D. S. **Tratamento térmico mínimo do suco de laranja natural: Estudo da viabilidade de armazenamento em latas de alumínio**. São Paulo. 1999, 55p. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-05102001-110512/en.php> Acesso em 15 out. 2021.

STUMBO, C. R. Thermobacteriology as Applied to Food Processing. **Advances in Food Research**. Academic Press, 1949. v. Volume 2, p.47-115. ISBN: 0065-2628. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065262808600415 Acesso em 16 out. 2021.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; PESSOA FILHO, P. A. Operações unitárias na indústria de alimentos. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. p.355-382. ISBN 978-85-216-3033-3.

TRIBESS, Tatiana Beatrís. **Estudo da cinética de inativação térmica da pectinesterase em suco de laranja natural minimamente processado**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. doi:10.11606/D.3.2003.tde-04052005-172452. Acesso em: 2021-10-21.

USDA. United States Department of Agriculture. **Citrus: World Markets and Trade**. 2021. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/w66343603/b8516k98g/2514ph35q/citrus.pdf>. Acesso em: 16 out. 2021.

VASCONCELOS, M.S., FILHO, A.M. **Técnico em Alimentos: Conservação de Alimentos**. Escola Técnica Aberta do Brasil, UFRPE/ UFRN/ CODAI, 2010. Disponível em: http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prod_alim/tec_alim/181012_con_alim.pdf. Acesso em: 02 mar. 2021.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A.J. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**, 4. Ed. Porto Alegre: Editora McGrawHill, 2012. p.644-697. ISBN 978-85-8055-128-0.