



**RAFAEL GOBETTI RITA**

**RECICLAGEM ENERGÉTICA DO PROCESSAMENTO  
DE SUCO DE LARANJA CONCENTRADO POR MEIO DO  
*SOFTWARE DWSIM***

**LAVRAS – MG  
2022**

**RAFAEL GOBETTI RITA**

**RECICLAGEM ENERGÉTICA DO PROCESSAMENTO DE SUCO DE  
LARANJA CONCENTRADO POR MEIO DO *SOFTWARE* DWSIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia de Alimentos,  
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Alexandre de Paula Peres  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2022**

**RAFAEL GOBETTI RITA**

**RECICLAGEM ENERGÉTICA DO PROCESSAMENTO DE SUCO DE  
LARANJA CONCENTRADO POR MEIO DO *SOFTWARE* DWSIM**

**ENERGY RECYCLING OF CONCENTRADED ORANGE JUICE  
PROCESSING THROUGH THE DWSIM SOFTWARE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia de Alimentos,  
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 25 de abril de 2022  
Prof. Dr. Alexandre de Paula Peres

Prof. Dr. Alexandre de Paula Peres  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2022**

*À minha mãe Sandra, ao meu pai Laercio e à minha avó Cleuza pelo apoio em todas as etapas e por serem os meus maiores exemplos de vida.  
Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais e minha avó por todo apoio e incentivo durante todos esses anos.

Agradeço aos meus professores que foram essenciais para minha formação da melhor forma possível.

Agradeço aos amigos, em especial a Larissa Ribeiro e Carla Soares, que dividiram comigo o caminho até aqui durante o curso de Engenharia de Alimentos.

Muito obrigado!

## RESUMO

O estudo da reciclagem energética pode ser vantajoso uma vez que se deseja ser competitivo no mercado e buscar um apelo ambiental, com isso, pode-se obter um produto com um preço final menor sem perda de qualidade, e ainda trazer uma diminuição de gastos com os processos que utilizam fontes de energia na indústria e impactando no preço do produto final para o consumidor. Com o intuito de tornar as indústrias do ramo alimentício mais competitivas em si, beneficiando o consumidor final, a aplicação do estudo do reciclo de energia pode ser levado em consideração. Dentre as tecnologias emergentes, os *softwares* podem auxiliar na operacionalização de tais processos, juntamente com o estudo de modelagem e simulação e a cada dia que passa, essa tecnologia apresenta os dados simulados mais próximos dos dados experimentais. Este trabalho focou no estudo do ganho em processos que utilizam a reciclagem de energia. Comprovou-se por meio do DWSIM, dedicado ao estudo de simulação e modelagem de processos, que a utilização de reciclagem de um processo sobre outro processo na cadeia produtiva do suco de laranja concentrado, é eficaz e que pode trazer ganhos significativos à indústria em termos de energia, onde com sua aplicação podemos reduzir em torno de 13%.

Palavras-chave: Reciclagem energética. Suco de laranja. DWSIM. Modelagem.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processamento do suco concentrado de laranja convencional.....	13
Figura 2 – Fluxograma da reutilização energética do processamento de suco de laranja concentrado.....	18
Figura 3 – Fluxograma de entrada do suco natural no processamento.....	21
Figura 4 – Fluxograma da corrente de <i>By-pass</i> .....	22
Figura 5 – Parte 1 do fluxograma da corrente Suco Natural.....	23
Figura 6 – Parte 2 do fluxograma da corrente Suco Natural.....	23
Figura 7 – Fluxograma completo da etapa de concentração do suco natural.....	25

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1	SUCO DE FRUTAS E SEU PROCESSAMENTO .....	12
3.1.1	Recepção e armazenamento da fruta .....	13
3.1.2	Limpeza .....	14
3.1.3	Seleção.....	14
3.1.4	Extração.....	14
3.1.5	Clarificação .....	14
3.1.6	Uniformização .....	14
3.1.7	Pasteurização .....	15
3.1.8	Concentração .....	15
3.1.9	Resfriamento .....	15
3.1.10	Envase/Embalagem .....	15
3.1.11	Estocagem .....	16
3.2	CONSUMO DE ENERGIA PARA PRODUÇÃO E PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS .....	16
3.3	CONCENTRAÇÃO DO SUCO DE LARANJA .....	17
3.4	RECICLAGEM ENERGÉTICA .....	17
3.5	MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS .....	19
3.6	<i>SOFTWARE</i> DWSIM .....	19
4	METODOLOGIA .....	21
4.1	DESCRIÇÃO DAS FASES DO PROCESSAMENTO DE OBTENÇÃO DO SUCO CONCENTRADO .....	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	28
7	REFERÊNCIAS .....	29



## 1 INTRODUÇÃO

É notório que a competição entre empresas de setores semelhantes está cada vez maior, cujo o objetivo é conquistar um número crescente de consumidores. O uso de *softwares* nas indústrias, de maneira geral, está se tornando cada vez mais comum e seu avanço permite para melhorar o processamento de produtos, justamente para auxiliar a cadeia de suprimentos e a manufatura a produzir mais, com menor gasto de recursos ambientais, podendo assim, contribuir para este ambiente competitivo.

A contenção de despesas sempre foi um estudo necessário em todos os tipos de indústrias, isso implica em uma tendência para a realização de processos fortemente integrados, que são caracterizados pela diversidade de ciclos de massa, e principalmente de energia. O uso de modelos rigorosos visa a validação da integridade do projeto e a sua capacidade de operação prática, requerendo uma simulação de toda planta operacional (SECCHI, 1995).

A indústria química e de alimentos pode ser considerada um dos principais setores nos quais a simulação e modelagem de processos é requerida e acaba sendo necessária na produção de determinado alimento.

Alguns fatores analisados para a implementação de pacotes computacionais, além do fator econômico, são algumas análises de segurança e riscos, redução de concentração de emissões químicas e reprodutibilidade de produtos de alta qualidade.

A principal commodity do Brasil, apresenta processos robustos e que em sua grande parte aplicam simulações em toda cadeia produtiva. A soja, nos proporciona R\$ 356,6 bilhões, além de ter processos otimizados, com a inclusão de muitos maquinários, sendo assim, um dos principais tópicos abordados pelos estudos computacionais no país (MAPA, 2021).

Bem atrás dos números gerados pela comercialização da soja, mas sem deixar de ser significativo, cerca de 97% do suco de laranja concentrado produzido no Brasil é exportado e isso gera ao país um faturamento de US\$1,5 bilhão a US\$2,5 bilhões por ano. Sendo um dos maiores produtores do mundo, o Brasil fabrica mais de 50% do suco de laranja concentrado no planeta (NEVES et al, 2013).

Os principais consumidores desse produto costumavam ser a Europa e os EUA, porém nos últimos anos tem ocorrido uma redução nos números de exportações. Isso se deve possivelmente ao aumento no mercado de bebidas de baixas calorias e oriundas de outras frutas. Contudo, países considerados emergentes têm-se mostrado potenciais

consumidores, principalmente aqueles pertencentes ao grupo BRICs (Brasil, Rússia, Índia e China) e o México (NEVES et al, 2013).

Com maior preocupação dos consumidores em ingerir produtos mais saudáveis, no ano de 2016, o segmento de sucos e bebidas de frutas, no mercado interno brasileiro, foi responsável por 31% dos lançamentos de produtos no mercado de bebidas não alcoólicas e 52% dos produtos lançados em 2016 foram integrais, de maior valor agregado (Valor Econômico, 2018).

No processamento do suco de laranja concentrado, algumas operações unitárias podem gerar vapor ou aquecer o alimento a elevadas temperaturas, utilizar esta energia que está em forma de calor para aquecer, por exemplo, uma linha de entrada pode ser muito vantajoso, fazendo com que se tenha uma economia energética e consequentemente uma economia financeira, sendo um processo conhecido como reciclagem energética. A diminuição de custos pode levar ao aumento de lucro, sendo o principal objetivo de todos os setores.

Por isso, no presente trabalho, buscou-se abordar a relevância da reciclagem energética da operação de evaporação utilizada na indústria de sucos concentrados, mas visando a comprovação, através da modelagem e simulação de processos químicos utilizando-se *software* DWSIM, de que os custos operacionais podem diminuir consideravelmente onde há o reciclo de energia em evaporadores.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho foi estudar a reciclagem energética no processamento do suco de laranja concentrado, utilizando o *software* DWSIM.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Apresentar em detalhes os números provenientes do uso do reciclo de energia;
- Levantar as vantagens e desvantagens do uso do reciclo energético;
- Discutir o panorama atual deste processo nas indústrias de alimentos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Suco de frutas e seu processamento

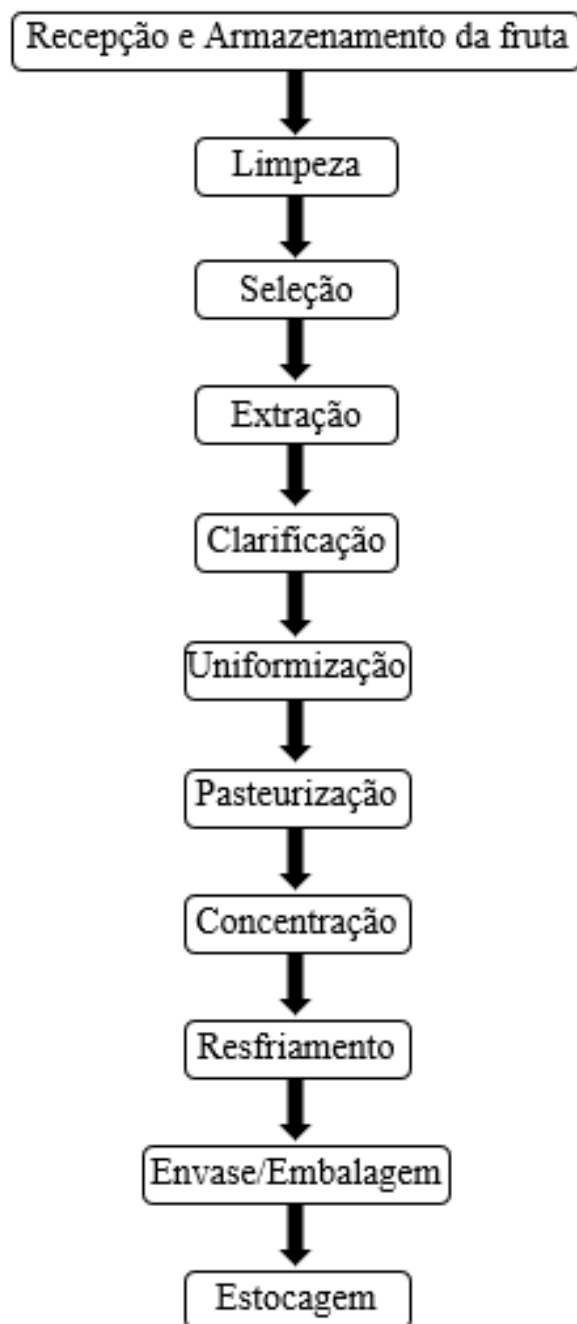
A Lei Nº 8.918, de 14 julho de 1994, dispõe a definição de suco de fruta em seu Artigo 5º como sendo uma bebida não fermentada, não concentrada e não diluída, obtida da fruta madura e sã, ou parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, submetida a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo (Ministério Da Agricultura, Do Abastecimento E Da Reforma Agrária, 1994).

Os sucos naturais integrais, segundo o Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009, podem ser submetidos ao processo de desidratação e concentração, que consiste na retirada total (em estado sólido) ou parcial de água (suficiente para elevar em, no mínimo, 50% o teor de sólidos solúveis presentes no respectivo suco integral). Dependendo do tipo de fruta, além da água, outros compostos voláteis (compostos aromáticos, vitaminas, componentes de sabor voláteis etc.) podem ser perdidos durante esta etapa (MAPA, 2009).

Suco reconstituído é o suco obtido pela diluição de suco concentrado ou desidratado, até a concentração original do suco integral ou ao teor mínimo de sólidos solúveis estabelecido nos respectivos padrões de identidade e qualidade para cada tipo de suco integral (MAPA, 2009).

No processamento de sucos concentrados, uma alternativa para reconstituir o suco nutricionalmente e sensorialmente é a utilização de uma corrente chamada *by-pass*, onde percorre nessa linha o suco 100% natural, sendo inserido no final do processo para a reposição destes nutrientes e sabor, mas para isso, o suco concentrado deve ser concentrado a uma porcentagem de sólidos solúveis maior, para que no final, o suco tenha a concentração desejada. Uma melhor visualização do detalhamento do processamento de suco concentrado de laranja convencional é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processamento do suco concentrado de laranja convencional.



Fonte: Autor (2021).

### 3.1.1 Recepção e armazenamento da fruta

As laranjas são descarregadas dos caminhões e caem em correias laminadas emborrachadas que as direcionam para um elevador de canecas. Nesta etapa é feita a primeira seleção, separando as frutas saudáveis das frutas com injúrias físicas. Após

essa prévia seleção, as laranjas seguem para os silos de armazenagem, onde ficam por até 48 horas com circulação de ar constante (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.2 Limpeza

Os frutos recolhidos mecanicamente do silo, são lavados e limpos em duas etapas. A primeira etapa é realizada com aspersão de água com detergentes e bactericidas (solução a base de cloro) acrescida de um tubo de com escovas com cerdas de nylon, potencializando uma maior eficiência desta etapa. Na segunda etapa, os frutos são expostos a roletes que os movimentam em todas as posições para que uma segunda solução de água e cloro possa ser aplicada, garantindo uma sanitização eficiente em toda superfície (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.3 Seleção

O sistema de roletes é mais uma vez utilizado para a etapa de seleção, onde os frutos rachados ou machucados são separados, uma vez que taxa de microorganismos presente nesses tipos de frutos é considerada muito maior do que em um fruto sadio e também pode interferir no equipamento que é preparado para receber laranjas inteiras sem defeitos (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.4 Extração

Há vários métodos de extração, os mais modernos conseguem separar o óleo essencial do suco. O método mais comum é apenas o esmagamento da fruta, sem a separação do óleo. Basicamente a laranja sofre uma pressão em sua parte superior, onde o suco e parte do óleo são juntamente extraídos (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.5 Clarificação

A etapa de clarificação é dada pela separação de fragmentos sólidos do suco natural. Essa separação ocorre mediante o trabalho de uma centrífuga com regime contínuo e limpeza automática, onde tal operação não retira a turvação característica de um suco cítrico, apenas suspensões mais grosseiras (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.6 Uniformização

Após a clarificação de vários lotes de suco de laranja, o líquido é enviado à tanques, onde é feita a retirada de algumas amostras para realização de análises

químicas. Feita as análises, os lotes podem ser misturados, tornando-os mais homogêneos, as correções também podem ser aplicadas, como correção de açúcares, ácidos, coloração e sabor, a adição de aditivos também é realizada nesta etapa (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.7 Pasteurização

É um tratamento térmico aplicado antes da concentração, com finalidade de eliminação da maior parte de microorganismos deterioradores, além de inativar enzimas como as pectinesterases (responsável pela turvação do suco). O tratamento pode ser realizado em temperaturas próximas a 82 °C durante 45 segundos em trocadores de calor por placas (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.8 Concentração

A concentração tem por finalidade a remoção de uma certa quantidade de água. Atualmente há uma tendência para a utilização do evaporador Centritherm, sendo ideal para a produção de concentrados de alta qualidade de produtos que são sensíveis ao calor e viscosos, com tempo de retenção de 1 segundo (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.9 Resfriamento

A temperatura final de resfriamento pode chegar a 25 °C que também é a temperatura média de comercialização. Esse processo é realizado em equipamentos apropriados para refrigerar (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.10 Envase/Embalagem

Saindo do tanque de refrigeração, o concentrado, por meio de tubulação, é envasado no recipiente adequado. O recipiente é variado, depende do destino final e se é para um nicho específico de mercado. Para exportação, o suco pode ser envasado em tambores de 50, 100 e até mesmo 200 litros. Para consumo menor, pode ser envasado em garrafas PET de 500, 600 e 1000 mililitros ou em embalagens Tetra Pak. Com garantia de pasteurização efetiva, o suco pode ser envazado em temperatura de comercialização ou em temperatura de geladeira (entre 7 °C e 10 °C) (BIHRE et al., 2003).

### 3.1.11 Estocagem

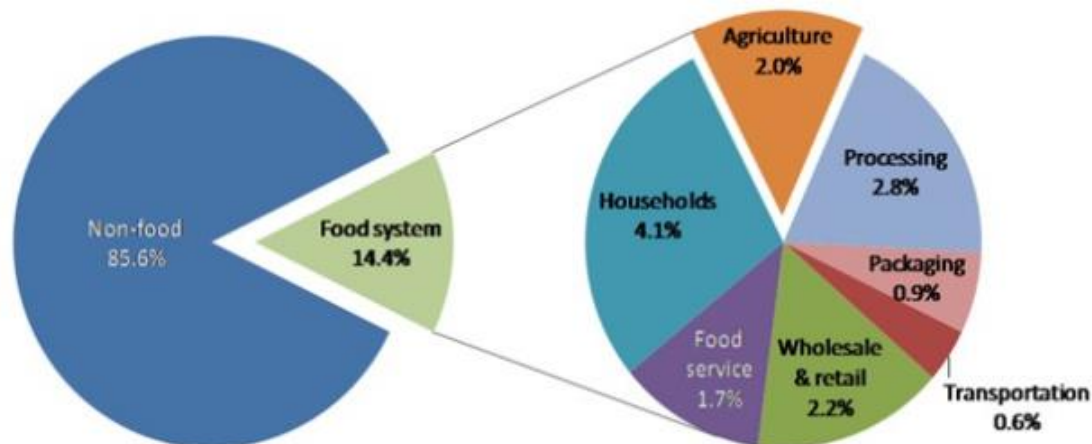
Após embalados nos recipientes, as garrafas podem ser embaladas em outra embalagem secundária para facilitar o transporte para poder ser estocadas em *pallets* e comercializadas em seguida. A estocagem também pode ser a temperatura ambiente ou em temperaturas mais frias (BIHRE et al., 2003).

## 3.2 Consumo de energia para produção e processamento de alimentos

A indústria de alimentos, dependendo do tipo de alimento, pode ser a principal ligação entre o consumidor e o setor agrícola. A substituição da mão-de-obra humana por mão-de-obra mecanizada, que tem por objetivo o aumento de produção e padronização dos produtos, acaba levando a indústria a depender de energia derivada de recursos renováveis ou não. A energia obtida por derivados de petróleo pode ser considerada a principal fonte em processos que envolvem transferência de calor e de massa.

A pesquisa *Energy Use in the US Food System*, feita em 2010 pelo Departamento de Agricultura do governo americano, constatou que o sistema de alimentação é responsável por 14,4% de toda energia consumida nos Estados Unidos. O Gráfico 1 demonstra com maior especificação o consumo de energia na cadeia de produção e processamento de alimentos. É evidente que o preparo da comida em casa (*Households* – 4,1%) possui a maior porcentagem do consumo de energia. Em segundo lugar, o processamento industrial (*Processing* – 2,8%) também contribui para esse efeito de consumo energético.

Gráfico 1 - Consumo de energia na cadeia de produção e processamento de alimentos.



Fonte: *Energy Use in the US Food System*, 2010.



Estudos realizados por RODRIGUES (2001) sobre a eficiência energética dos principais equipamentos utilizados no processo de produção de suco concentrado de laranja, mostraram que a energia térmica envolvida no processamento corresponde a uma faixa entre 84 a 92% da energia total consumida pela indústria. A partir destes estudos, uma alternativa tecnicamente viável para diminuir os custos de produção é o aumento do número de efeitos e estágios no processo de evaporação.

### **3.3 Concentração do suco de laranja**

A concentração de um líquido homogêneo com vários constituintes é realizada pelo aquecimento do mesmo, proveniente de um sistema que garante a troca de calor de um fluido/sistema com temperatura maior para um fluido com temperatura menor. No processamento de suco de laranja concentrado, o fluido a ser concentrado é o próprio suco de laranja natural.

O principal equipamento utilizado para esta operação é um trocador de calor, também pode ser chamado de evaporador. O principal tipo de evaporador utilizado no Brasil é o modelo TASTE (*Temperature accelerated short-time evaporator*), que consiste em múltiplos efeitos e estágios, de película descendente. O TASTE é ideal para concentração de sucos cítricos e tropicais (CHEN, 1981).

Há compostos no suco de laranja que são sensíveis ao calor, para minimizar essas perdas durante a concentração e também minimizar as atividades das enzimas pectinesterases e ácido ascórbico oxidase, uma pasteurização é feita no suco fresco antes de prosseguir para o evaporador. Esta etapa pode ser realizada por trocadores de calor tubulares ou tipo placas a uma temperatura de 82 °C, num tempo de 30 a 60 segundos (CHEN, 1981).

### **3.4 Reciclagem energética**

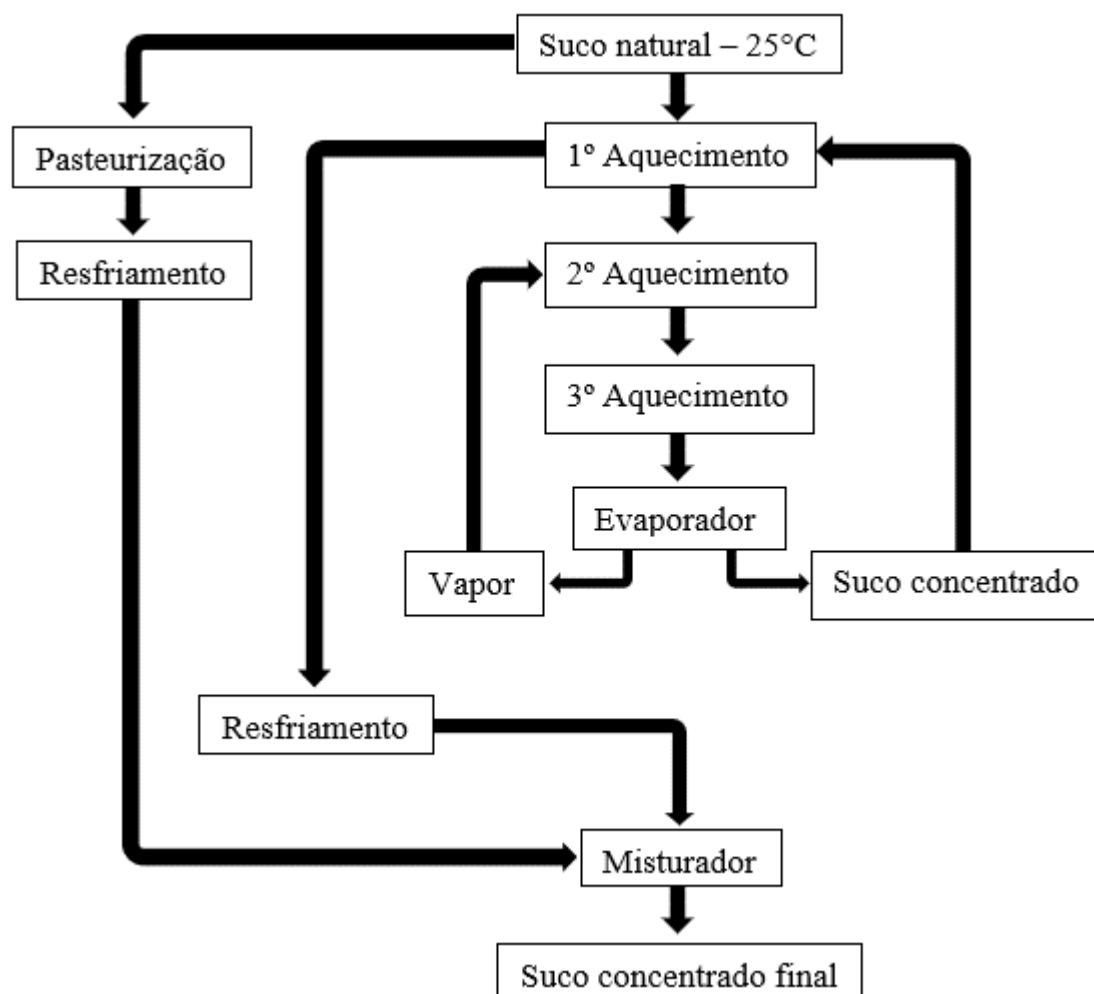
A reciclagem energética é muito utilizada nas indústrias químicas de polímeros. Esta fonte de energia alternativa é comumente realizada em tais indústrias pela conversão da energia térmica contida na combustão de resíduos plásticos em energia elétrica (WIEBECK, 1999; PIVA, 1999).

No processamento do suco de laranja concentrado, também é possível utilizar a reciclagem energética, porém essa utilização pode ser mais sustentável, pois não gera resíduos poluentes, como o dióxido de carbono, gerado na indústria de polímeros. Na

produção do suco de laranja concentrado pode-se obter duas vias de energia em forma de calor, uma via resultante do vapor gerado no evaporador e uma segunda via do próprio suco concentrado que sai a uma temperatura elevada.

O vapor gerado no evaporador pode ser utilizado para aquecer a linha de entrada do trocador de placas ou tubos/aquecedores da etapa de pasteurização. A linha de entrada está a uma temperatura baixa, em torno de 25 °C, trocando calor com o suco concentrado, ela será aquecida até uma temperatura superior e em seguida poderá seguir para um novo trocador de calor, trocando calor mais uma vez, porém dessa vez será trocado calor com o vapor gerado no evaporador. Após essas duas trocas de calor, o suco natural poderá seguir para a pasteurização, onde a troca de calor vai ser minimizada devido ao ganho de temperatura das etapas anteriores, conseqüentemente, um gasto menor de energia elétrica. Essa análise pode ser melhor entendida através da Figura 2, onde o fluxograma dessas etapas está apresentado.

Figura 2 - Fluxograma da reutilização energética do processamento de suco de laranja concentrado.



Fonte: Autor (2021).

### 3.5 Modelagem e simulação de processos

A modelagem e simulação de processos é uma ferramenta bastante utilizada na Engenharia Química, devido à possibilidade de prever condições operacionais ou simular equipamentos, sem interferir no sistema operante. A partir da década de 80, coincidindo com a evolução dos microcomputadores e a disponibilização de softwares, surgiram vários trabalhos científicos com o objetivo de simular computacionalmente o comportamento de diversos processos (SECCHI, 2002).

A necessidade de contenção de despesas tem introduzido na indústria química uma tendência para a realização de processos fortemente integrados, que são caracterizados pela diversidade de ciclos de massa e energia. Para estes processos, a validação da integridade do projeto e a sua operabilidade prática requerem a simulação de toda planta com o uso de modelos rigorosos (SECCHI, 2002).

O interesse industrial em técnicas e pacotes computacionais para a modelagem e simulação de processos tem crescido muito nestes últimos anos, influenciado por vários fatores, tais como os fatores econômicos citados acima e a necessidade de uma melhor produção química, incluindo análises de segurança e risco, redução da concentração de emissões químicas e reprodutibilidade de produtos químicos de alta qualidade. Entretanto, estas ferramentas ainda não estão sendo muito usadas em processos industriais, principalmente, pela complexidade envolvida na análise de modelos de processos associada a falta de treinamento dos engenheiros de processo (SECCHI, 2002).

### 3.6 Software DWSIM

DWSIM foi criado em 2004, Daniel Wagner Oliveira de Medeiros, o desenvolvedor do software, usou uma amostra de trabalho para uma superfície de desenho para criar o *Process Flowsheet Drawing Designer*, que mais tarde se tornaria o DWSIM. O simulador de processos químicos DWSIM é um ambiente aberto, brasileiro, que segue o padrão *CAPE-OPEN* e está disponível para ser utilizado em *Windows*, *Linux* e *Mac*. O DWSIM permite que estudantes e engenheiros químicos estudem e compreendam comportamentos em processos químicos usando modelos rigorosos em operações termodinâmicas como misturador, separador, bomba, compressor, expensor,

aquecedor, refrigerador, válvula, colunas de destilação, trocador de calor, vários reatores, separadores de sólidos, etc.

O programa oferece alguns pacotes de propriedades, os mais populares disponíveis no software são Peng-Robinson, Chao-Seader, Grayson-Streed, Gás Ideal, UNIFAC, Soave-Redlich-Kwong, Lee-Kesler e outras. Ele possui biblioteca de componentes para pesquisa instantânea; detecção automática de erros; ferramenta de geração de gráficos e curvas; interface simples para usuários com pouco conhecimento de programação; disponibilidade para uso em dispositivos móveis; gerenciamento dos fluxos de materiais, reações químicas e criação de componentes; projetar uma representação esquemática do processo, etc.

## 4 METODOLOGIA

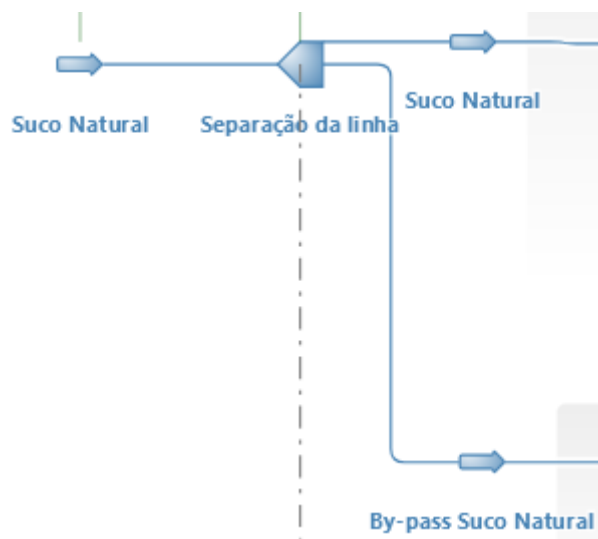
Este trabalho foi realizado integralmente no programa DWSIM, onde realizou-se diversos testes. O foco da modelagem computacional foi o processo de concentração do suco natural de laranja, sendo considerado as etapas de pasteurização, concentração e resfriamento, excluindo os cálculos de gasto energético de outras etapas do processo como recepção das frutas, lavagem, extração, clarificação, etc. O software consegue abranger as etapas específicas do processo, mas não traz a especificidade da utilização do tipo de equipamento, ou seja, o trocador de calor é apenas um equipamento de troca de calor, não podendo definir se é do tipo placa ou tubular. Em todo processo de aquecimento não foi utilizado vácuo.

### 4.1 Descrição das fases do processamento de obtenção do suco concentrado

#### a) Linha de entrada

A produção de inicia pela linha de entrada, onde o suco natural entra a uma vazão estipulada de 1000 kg/h, a uma concentração de 13,5% de sólidos solúveis (para este trabalho, considerou-se apenas a frutose como sólido solúvel, uma vez que não conseguimos estipular os outros compostos no *software*), a uma temperatura de 25 °C e é dividido em duas linhas por um *split*, dando origem a corrente de “Suco Natural” e a corrente “*By-pass* Suco Natural”, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de entrada do suco natural no processamento.

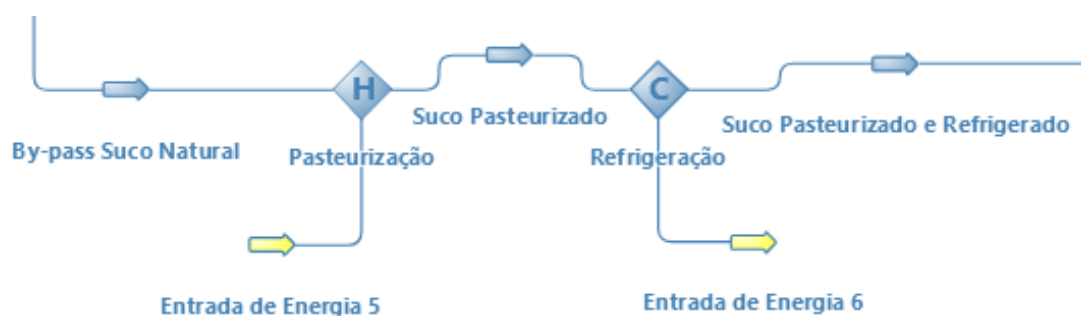


Fonte: Autor (2021).

#### b) Corrente *By-pass* Suco Natural

Cerca de 11,62% da vazão do suco foi separado nessa corrente pois, como se sabe, muitos compostos do suco de laranja são perdidos nos processos de concentração, com isso, podemos reter alguns compostos nutricionais (ácido cítrico – Vitamina C) e aromáticos, reduzindo a adição de aditivos. Após a separação, o líquido passa por uma pasteurização a 82 °C por 45 segundos a fim de eliminar os microorganismos deterioradores. Após essa etapa, passa-se por um resfriamento até atingir uma temperatura de 25 °C, que posteriormente seguirá para um tanque de mistura para se juntar com o suco concentrado, como observado na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma da corrente de *By-pass*.

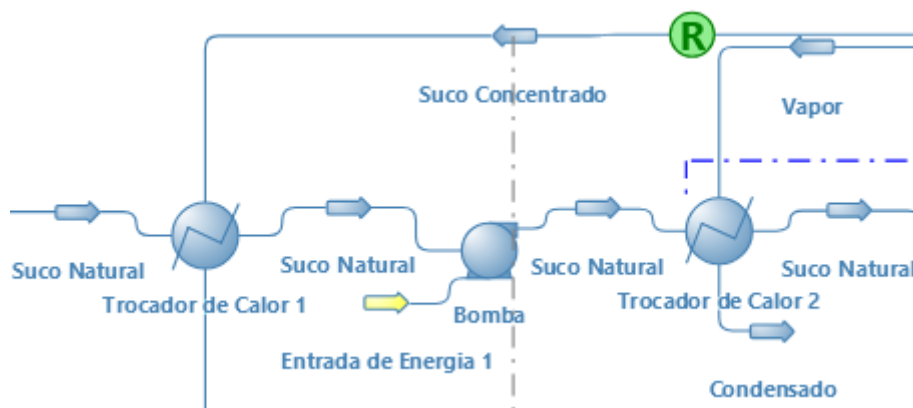


Fonte: Autor (2021).

### c) Corrente Suco Natural

O suco natural, com vazão de 883,8 kg/h e temperatura de 25 °C, passa pelo primeiro trocador de calor do tipo placas, que é aquecido pela troca de calor do suco concentrado vindo do evaporador a uma temperatura de 103 °C. Com essa etapa, podemos elevar a temperatura do suco natural em aproximadamente 10,50 °C, obtendo um suco aquecido a 35,50 °C, observado na Figura 5. O símbolo “R”, apresentado na Figura 5, significa que nesta etapa utiliza-se a energia de outra fonte do processo, ou seja, é a corrente onde há o reciclo de energia.

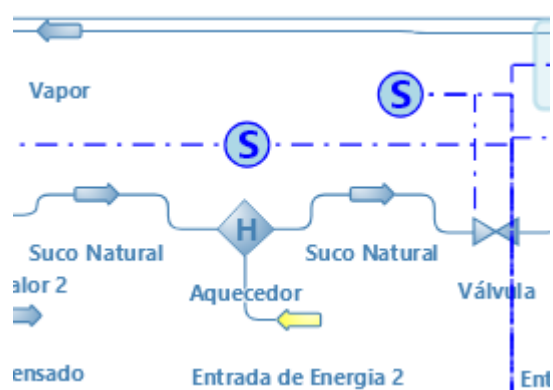
Figura 5 – Parte 1 do fluxograma da corrente Suco Natural.



Fonte: Autor (2021).

Com o auxílio de uma bomba, o suco é bombeado para o segundo trocador de calor, também do tipo placas, cuja troca de calor é realizada com o vapor a 103 °C proveniente do evaporador, passando de 35,50 °C para 90,33 °C. Após essas duas etapas, o suco de laranja pode ter sua temperatura aumentada para a temperatura do evaporador (103 °C), isso é realizado com o auxílio do aquecedor (pasteurizador), que atinge a temperatura de 101 °C, onde posteriormente passa por uma válvula adiabática, com objetivo de diminuir a pressão do sistema, como apresentado na Figura 6. O símbolo “S”, apresentado na Figura 6, significa que para os equipamentos há uma certa especificação, onde pretende-se estipular alguns parâmetros de trabalho, como a temperatura e pressão por exemplo.

Figura 6 - Parte 2 do fluxograma da corrente Suco Natural.



Fonte: Autor (2021).

Por fim, o suco natural está pronto para entrar no evaporador, onde realiza-se a concentração do suco por meio da retirada de água do sistema. O evaporador atua a uma temperatura de 103 °C, com capacidade de até 1m<sup>3</sup>, com saída de 700,3 kg/h de vapor e

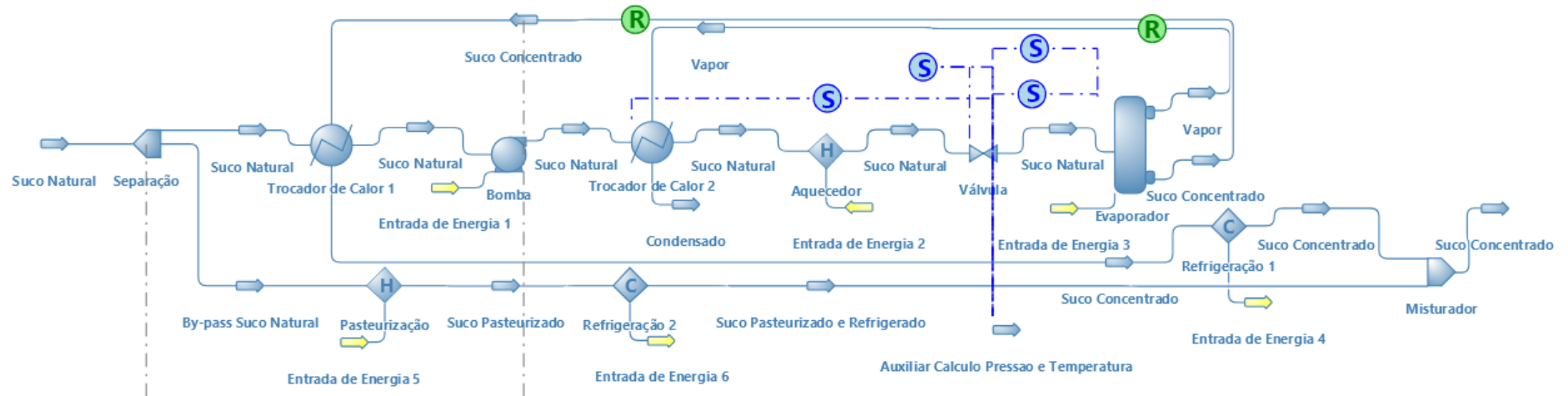
saída de 183,5 kg/h de suco a uma concentração de 65 °Brix. O suco concentrado passa pelo Trocador de Calor 1, onde perde calor e atinge a temperatura de 35,0 °C, posteriormente, passa por um refrigerador para perder calor e atingir 25 °C.

d) Corrente de mistura

Após o resfriamento do suco concentrado e da corrente *by-pass*, pode-se realizar a mistura das duas correntes a fim de obter o suco com concentração final de 45 °Brix, concentração ideal para comercialização. Uma visualização geral do fluxograma do processo está apresentada na Figura 7.



Figura 7 – Fluxograma completo da etapa de concentração do suco natural.



Fonte: Autor (2021).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de comprovar os benefícios provenientes do reciclo de energia, alguns dados de consumo dos equipamentos no processamento do suco de laranja concentrado são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Consumo energético dos equipamentos sem reaproveitamento de energia.

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>CONSUMO DE ENERGIA (kW)</b>
Bomba Adiabática	0,0362
Aquecedor	10,8406
Evaporador	451,0520
Pasteurizador	7,2343
Refrigerador 1	7,2343
Refrigerador 2	1,3962
<b>TOTAL</b>	<b>477,7936</b>

Fonte: Autor (2021).

Com o reciclo de energia proveniente da troca de calor do suco concentrado e do vapor que saem do evaporador com o suco na entrada do processo, pode-se notar os dados no Quadro 2, obtidos pelo DWSIM.

Quadro 2 – Economia energética obtida pelos trocadores de calor.

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>ENERGIA ECONOMIZADA (kW)</b>
Trocador de Calor 1	9,9510
Trocador de Calor 2	53,4033
<b>TOTAL</b>	<b>63,3543</b>

Fonte: Autor (2021).

Com esses dados, observa-se no geral, comparando com os gastos de todos os equipamentos, consegue-se economizar aproximadamente 63,35 kW de energia. Do total de 477,7936 kW, isso representa cerca de 13,26% de economia para o processo, que pode ser considerado relevante para essas etapas. Ou seja, deixa-se de consumir 63,35 kW de energia para aquecer o fluido ao chegar no evaporador, ao invés disso, utiliza-se apenas 10,84 kW (energia gasta no Aquecedor) dos 74,19 kW (energia total utilizada no Aquecedor sem o reciclo energético). O principal ponto sobre o aproveitamento de energia proveniente dos fluidos resultantes do evaporador é que utilizamos menos energia para realizar o aquecimento do suco natural de 25 °C para a temperatura de pasteurização de 101 °C.

Tal processo pode ser extremamente benéfico ao setor, uma vez que ajuda na economia de energia e, conseqüentemente, diminui os gastos gerados pelo processo e possibilita um apelo pela sustentabilidade do meio ambiente. No processo de batelada pode haver maiores variações desses valores uma vez que o equipamento permanece ligado por um certo tempo antes de começar efetivamente o processo, por isso aconselha-se sempre a utilização dessa alternativa para processos que ocorrem de maneira contínua. A utilização de evaporadores em múltiplos efeitos em grande escala, também pode trazer uma economia e eficiência ao processamento, uma vez que é aumentado a evaporação por quilograma de vapor empregado.

Como pontos negativos, a implementação das etapas de reciclo energético pode consumir boa parte do orçamento da empresa, podendo ter seu custo pago em poucos anos. Dependendo do porte da empresa e do investimento, outros meios de economia de energia podem ser empregados sem muito esforço. Um outro ponto é a instrumentação e controle do processo, onde costuma requerer mão de obra especializada e instrumentos com precisão elevada, para garantir o reciclo de energia.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A reciclagem de energia, apesar de pouco utilizada na indústria de alimentos, pode ser considerada um meio de conservação de energia, uma vez que os gastos dentro do processo são reduzidos e os benefícios são obtidos em um curto prazo. A economia de energia em etapas, seja qual for o produto final, é promissora, permitindo reduzir o custo do produto final. Como demonstrado, neste trabalho obteve-se uma redução energética de aproximadamente 13,3% no processo de concentração do suco de laranja. De maneira geral, pode-se concluir que a tendência do mercado é de ampliar a adesão a esta técnica, pois demandas progressivas por alimentos de mais sustentabilidade incentivam sua aplicação, estudos e o maior valor agregado ao produto finalizado pode compensar limitações acarretadas pelo custo inicial do investimento, como comprovado pela simulação no presente trabalho.

## 7 REFERÊNCIAS

BIHRE, Eduardo *et al.* **Fluxograma de Processamento do Suco Concentrado de Laranja**. 187. ed. Porto Alegre, fevereiro 2003. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus/afeira/produtos/frutas/suco-de-laranja-pasteurizado-1/processamento/fluxograma-do-processamento>. Acesso em: 26 abr. 2021.

CANNING, Patrick *et al.* Energy Use in the U.S. Food System. **United States Department of Agriculture**, EUA, p. 1-39, 1 mar. 2010. Disponível em: [https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/46375/8144\\_err94\\_1\\_.pdf?v=0](https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/46375/8144_err94_1_.pdf?v=0). Acesso em: 29 abr. 2021.

CHEN, C. S. **Evaporator technology for citrus**. Paper n° 81-6014 presented at the 1981 Summer Meeting, American Society of Agricultural Engineers, Orlando, Florida, EUA. Acesso em: 30 abr. 21.

DWSIM (org.). **About DWSIM**. Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://dwsim.org/index.php/about/>. Acesso em: 7 jun. 2021.

GASPARINO, F. J. **Estudo do consumo e conservação de energia em uma unidade industrial de suco de laranja concentrado congelado**, São Paulo, USP, 118 p., 1982. Acesso em: 30 abr. 21.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Lei n° 49, de 26 de setembro de 2018. Art. 1° Fica estabelecida em todo o território nacional a complementação dos Padrões de Identidade e Qualidade de Suco e Polpa de Fruta, na forma desta Instrução Normativa. **INSTRUÇÃO NORMATIVA N° 49, DE 26 DE SETEMBRO DE 2018**, Diário Oficial da União, 27 set. 2018. Disponível em: [https://www.in.gov.br/web/guest/materia/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/42586576/do1-2018-09-27-instrucao-normativa-n-49-de-26-](https://www.in.gov.br/web/guest/materia/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/42586576/do1-2018-09-27-instrucao-normativa-n-49-de-26-). Acesso em: 26 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA. Lei n° 8918, de 14 de julho de 1994. Dispõe Sobre A Padronização, A Classificação, O Registro, A Inspeção, A Produção E A Fiscalização De Bebidas, Autoriza A Criação Da Comissão Intersetorial De Bebidas E Dá Outras

Providências. **LEI Nº 8.918 DE 14 DE JULHO DE 1994**, Brasília, 15 jul. 1994. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/18918.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%208.918%2C%20DE%2014%20DE%20JULHO%20DE%201994.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20padroniza%C3%A7%C3%A3o%2C%20a,Bebidas%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18918.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%208.918%2C%20DE%2014%20DE%20JULHO%20DE%201994.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20padroniza%C3%A7%C3%A3o%2C%20a,Bebidas%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs). Acesso em: 30 jun. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, ABASTECIMENTO E PECUÁRIA. Decreto nº 6871, de 4 de junho de 2009. Dispõe Sobre A Padronização, A Classificação, O Registro, A Inspeção, A Produção E A Fiscalização De Bebidas, Autoriza A Criação Da Comissão Intersetorial De Bebidas E Dá Outras Providências. **DECRETO Nº 6.871, DE 4 DE JUNHO DE 2009.**, Brasília, 15 jun. 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm). Acesso em: 30 jun. 2021.

NEVES, Marcos Fava *et al.* **Competitiveness of the Orange Juice Chain in Brazil**. [S.l.], 2013. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/159664/>. Acesso em: 30 jun. 2021.

RODRIGUES, Gilson J. **Estudo Energético De Uma Planta De Processamento De Suco De Laranja Concentrado Congelado**. Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo. 2001. 101 f. Dissertação (Mestrado - Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/79527/180240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 maio 2021.

SECCHI, Argimiro R. Modelagem e Simulação de Processos. *In*: SECCHI, Argimiro R. **Modelagem e Simulação de Processos**. Farroupilha, 2002. Disponível em: [http://www2.peq.coppe.ufrj.br/Pessoal/Professores/Arge/COQ790/Modelagem\\_Processos.pdf](http://www2.peq.coppe.ufrj.br/Pessoal/Professores/Arge/COQ790/Modelagem_Processos.pdf). Acesso em: 22 abr. 2021.

SINGH, R. P. **Energy in food Processing**, Vol 1, Edited by R. P Singh. Editora Elsevier. 1986. Acesso em: 29 abr. 21.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. **Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses.** 3. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>. Acesso em: 21 abr. 21.

VALOR ECONÔMICO (ed.). **Boas perspectivas para o mercado de sucos.** [S. l.], 29 nov. 2017. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/boas-perspectivas-para-o-mercado-de-sucos/>. Acesso em: 30 jun. 2021.

WIEBECK, H.; PIVA, A. M. **Reciclagem Mecânica do PVC.** São Paulo: Instituto do PVC, 1999. 98 p. Acesso em: 30 abr. 21.