

Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Ana Sofia Pico Maia

**Pasteurização: Estudo do efeito de
Parâmetros Físico-químicos na Cinética e
Dimensionamento**

Projecto

Orientado por:

Doutor Valentim M.B. Nunes - Instituto Politécnico de Tomar

Projecto apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre
em Tecnologia Química

RESUMO

Actualmente há uma forte tendência no consumo de produtos de elevada qualidade. Neste contexto surgiu a necessidade de criar um novo produto, o smoothie C, fabricado apenas com fruta e sem conservantes, sendo apenas a utilizada a pasteurização como método de conservação. O presente trabalho incide na descrição deste processo industrial, assim como na selecção do equipamento mais apropriado para a pasteurização e o seu dimensionamento. Para a realização deste estudo foram analisados os parâmetros físico-químicos do smoothie, antes e depois do processo de pasteurização, e foi dimensionado um pasteurizador baseado nesses valores.

Existem vários factores que influenciam na escolha do pasteurizador, como por exemplo o caudal que se pretende tratar, a temperatura de tratamento e a viscosidade.

Conclui-se então que a viscosidade é o único parâmetro físico-químico que se altera com a pasteurização e o único que influencia o dimensionamento de um pasteurizador. Fazendo uma simulação do coeficiente de transferência de calor, mantendo todas as condições iguais excepto a viscosidade, verifica-se que para um valor mais elevado o coeficiente de transferência de calor diminui. Assim sendo, dependendo do valor da viscosidade do produto que se pretende tratar, escolhe-se o tipo de pasteurizador mais adequado.

Palavras-chave: Pasteurização, Permutador de Calor, Microrganismos, Viscosidade.

ABSTRACT

Nowadays there is a strong tendency for the consumption of high quality products. In this context emerged the necessity to create a new product, the C smoothie, made just with fruits and using only the pasteurization as preservative method. This work focused in the description of this industrial process, as well as the selection of the most appropriate equipment for pasteurization and design.

In this study there were analyzed the smoothie physicochemical parameters, before and after pasteurization process, and was designed a pasteurizer based on those values.

There are several factors influencing the choice of the pasteurizer, such as the flow to be treated, the treatment temperature and the viscosity.

It was concluded that the viscosity is the only physicochemical parameter that changes with the pasteurization and the only that influences the pasteurizer design.

Making a simulation of the heat transfer coefficient, keeping all the same conditions except the viscosity, it was verified that for a higher value of viscosity the heat transfer coefficient decreases.

Depending on the viscosity value of the product being treated, it was choosed the most appropriate type of pasteurizer.

Keywords: Pasteurization, Heat Exchanger, Microorganisms, Viscosity

AGRADECIMENTOS

Quero expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste projecto. Pelo apoio particularmente relevante justifica-se uma referência especial:

Ao meu orientador, Doutor Valentim Nunes, pelo seu auxílio, disponibilidade, paciência, críticas e sugestões.

Aos meus pais e restante família por todo o apoio, encorajamento e paciência.

Aos meus amigos por todo o apoio e ânimo, pela boa disposição e pelos bons momentos

E finalmente ao João por toda a ajuda, incentivo, companheirismo, compreensão, e paciência demonstrados.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. DESCRIÇÃO DO FABRICO DO SMOOTHIE C	3
2.1. Definição de Smoothie	3
2.2. História e Evolução do Smoothie C	3
2.3. Fluxograma do processo	4
2.3.1. Descrição das etapas 1-Recepção de fruta, 2-Pesagem, 3-Colocação em câmara e 4-Stock em câmara	7
2.3.2. Descrição das etapas 5-Preparação em palotes, 6-Colocação em câmara e 7-Stock em câmara	8
2.3.3 Descrição das etapas 8-Lavagem e Desinfecção, 9-Enxaguamento e 10-Transporte	8
2.3.4. Descrição da etapa 11-Descaroçamento	9
2.3.5. Descrição da etapa 12-Extracção (Citrinos)	9
2.3.6. Descrição da etapa 13-Trituração	10
2.3.7. Descrição da etapa 14-Prensagem	11
2.3.8. Descrição da etapa 15-Mistura	12
2.3.9. Descrição das etapas 16-Filtração e 17-Desarejamento	12
2.3.10. Descrição das etapas 18-Pasteurização e 19-Stock em depósito	13
2.3.11. Descrição das etapas 20-Envio à máquina de enchimento e 21-Enchimento	14
2.3.12. Descrição da etapa 22-Selagem	15
2.3.13. Descrição das etapas 23-Transporte em tapete e 24-Teste de Estanquidade	16
2.3.14. Descrição da etapa 25-Datação.....	16
2.3.15. Descrição da etapa 26-Rotulagem	17

2.3.16. Descrição das etapas 27-Colocação no cluster e 28-Datação do cluster	17
2.3.17. Descrição da etapa 29-Encaixotamento	18
2.3.18. Descrição das etapas 30-Paletização e 31-Transporte em paletes	18
2.3.19. Descrição das etapas 32-Armazenamento em câmara e 33-Expedição.....	18
3. PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO	19
3.1 Introdução	19
3.2 Definição de Pasteurização e suas vantagens	19
3.3 Destruição de microrganismos pelo calor	20
3.3.1 Termoresistência Microbiana	20
3.3.2 Combinação Tempo/Temperatura	22
3.4 Equipamento de Pasteurização.....	23
3.5 Tipos de Pasteurizadores	23
3.5.1 Pasteurizadores Tubulares.....	24
3.5.1.1 Permutadores de tubos coaxiais ou concêntricos	24
3.5.1.2 Permutadores de superfície raspada.....	25
3.5.1.3 Permutadores multitubulares	25
3.5.2 Pasteurizadores de Placas	27
3.6 Tipos de Pasteurização	28
3.7 CIRCULAÇÃO DOS FLUIDOS	28
3.7.1 Fluxo em contracorrente.....	28
3.7.2 Fluxo em paralelo	29
3.8 Sistemas de aquecimento nos pasteurizadores.....	31

3.8.1 Sistemas de aquecimento com água.....	31
3.8.2 Sistemas de aquecimento por vapor.....	31
3.8.3 Sistemas de arrefecimento	31
4. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SMOOTHIE C	33
4.1 Viscosidade	33
4.2 Brix.....	34
4.3 pH.....	34
4.4 Acidez.....	35
4.5. Vitamina C.....	35
5. RESULTADOS.....	37
5.1 Comparação de parâmetros Físico-Químicos em amostras antes e depois de pasteurizadas.....	37
5.1.1 Smoothie Exótico de Laranja	37
5.1.2 Smoothie Morango-Banana.....	37
5.1.3 Smoothie Frutos Vermelhos	38
6. DIMENSIONAMENTO DE UM PASTEURIZADOR.....	41
6.1 Factores que afectam a escolha de um pasteurizador	41
6.2 Dimensionamento de um pasteurizador.....	41
6.2.1 Definição da Tarefa:	41
6.2.2 – Escolha do Tipo de Permutador	43
6.2.3 – Escolha da Localização dos Fluidos.....	43
6.2.4 – Escolha do Traçado do Permutador	44

6.2.5-Definição das características dos materiais.....	45
6.2.6- Estimativa da área de transferência.....	47
6.2.7 – Cálculo dos coeficientes individuais da transferência de calor	49
6.2.8 Cálculo do coeficiente global de transferência de calor	54
2.6.9 Estimativa da queda de pressão no pasteurizador	56
6.2.10 Cálculo da transferência para um produto com maior viscosidade	58
7. CONCLUSÃO	61
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

Índice de Figuras

Figura 1 - Fluxograma de fabrico, e.p.	5
Figura 2 - Fluxograma de fabrico – continuação, e.p.	6
Figura 3 - Tapete transportador da fruta desde o tanque de lavagem até aos diversos extractores, e.p.	9
Figura 4 - Esquema da extracção de citrinos [4].	10
Figura 5 - Esquema de funcionamento do parafuso de pressão para a extracção de sumos [5].	11
Figura 6 - Esquema representativo do tanque de mistura, e.p.	12
Figura 7 - Esquema da uma zona de pasteurização [8].	14
Figura 8 - Esquema da enchedora ERMI [9].	15
Figura 9 - Copos antes e após a colocação dos opérculos [9].	15
Figura 10 - Cabeças de selagem a selar os copos [9].	16
Figura 11 - Máquina de formação dos clusters [10].	17
Figura 12 - Relação tempo/temperatura para eliminação de alguns microrganismos [6].	22
Figura 13 - Fotografia da unidade de pasteurização dos smoothies C, e.p.	23
Figura 14 - Permutador de calor de forma multicanal [6].	24
Figura 15 - Permutador de calor de superfície raspada [7].	25
Figura 18 - Permutador multitubular [6].	26
Figura 16 - Permutador de calor multitubular em U [7].	26
Figura 17 - Permutador de calor multitubular de tubos rectilíneos [12].	26
Figura 20 - Circulação dos fluidos num permutador de placas [6].	27
Figura 19 - Exemplos de placas [6].	27
Figura 21 - Permutador de calor com fluxo em contracorrente [12].	29
Figura 22 - Evolução das temperaturas do produto e do fluido de aquecimento num processo em contracorrente [12].	29
Figura 23 - Permutador de calor com fluxo em paralelo [12].	30
Figura 24 - Evolução das temperaturas do produto e do fluido de aquecimento num processo em paralelo [12].	30
Figura 25 - Esquema de um pasteurizador, e.p.	41
Figura 26 – Definição da circulação dos fluidos no permutador, e.p.	43

Figura 27 - Factor de correcção da temperatura: uma passagem na caixa e uma passagem nos tempos [17].	45
Figura 28 - Esquema de uma caixa do permutador e.p.	45
Figura 29 - Dados da ficha técnica do pasteurizador e.p.	46
Figura 30 - Coeficientes globais de transferência de calor [18].	48
Figura 31 - Factor de transferência de calor do lado do tubo [18].	50
Figura 32 – Representação de chicanas em segmento [18].	52
Figura 33 - Factores de transferência de calor do lado da caixa [18].	53
Figura 34 - Factores de sujidade (coeficientes) [18].	55
Figura 35 - Factor de atrito do lado do tubo [18].	57
Figura 36 - Factor de atrito do lado da caixa [18].	58

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Principais condições para a ocorrência de alguns dos principais perigos biológicos [1].	21
Tabela 2 – Comparação dos parâmetros físico-químicos antes e depois de pasteurizado em quatro amostras distintas do smoothie Exótico de Laranja.....	37
Tabela 3 - Comparação dos parâmetros físico-químicos antes e depois de pasteurizado em quatro amostras distintas do smoothie Morango-Banana.	37
Tabela 4 - Comparação dos parâmetros físico-químicos antes e depois de pasteurizado em quatro amostras distintas do smoothie frutos vermelhos.	38
Tabela 5 – Propriedades dos fluidos utilizados no dimensionamento do permutador, e.p.	42

Lista de abreviaturas

$\dot{m}$ - Caudal mássico, Kg/h

$\frac{\mu}{\mu_w}$ - Factor de correcção da viscosidade, adimensional

μ - Viscosidade média, Kg/ms

A – Área de transferência de calor, m²

AP – Parâmetros do smoothie antes de pasteurizado

As – Área para o fluxo cruzado, m²

Cp – Calor específico, KJ/KgK

deq – Diâmetro equivalente, m

d_{ext} – Diâmetro externo dos tubos, m

d_{int} - Diâmetro interno dos tubos, m

DP – Parâmetros do smoothie depois de pasteurizado

esp – Espessura dos tubos, m

f₀ – Coeficiente de sujidade interior, KJ/hmK

f₁ – Coeficiente de sujidade exterior, KJ/hmK

F_t – Factor de correcção da temperatura, adimensional

Gs – Velocidade mássica, Kg/sm²

h₀ – Coeficiente de transferência de calor do lado dos tubos, KJ/hm²K

h₁ – Coeficiente de transferência de calor do lado da caixa, KJ/hm²K

jf – factor de atrito, adimensional

jh – Factor de transferência de calor, adimensional

K – Condutividade térmica, KJ/hmK

L – Comprimento dos tubos, m

Np – Número de passagens do lado dos tubos

Pr – Número de Prandtl, adimensional

P_t – Passo dos tubos, m

Q – Fluxo de transferência de calor, KJ/h

R – Razão adimensional de temperatura

Re – Número de Reynolds, adimensional

S – Razão adimensional de temperatura

T₁ – Temperatura de entrada da água, K

t_1 – Temperatura de entrada do smoothie, K
 T_2 – Temperatura de saída da água, K
 t_2 – Temperatura de saída do smoothie, K
 T_e – Temperatura de entrada, K
 T_s – Temperatura de saída, K
 U – Coeficiente global de transferência de calor, $\text{KJ/hm}^2\text{K}$
 ΔP – Queda de pressão do lado dos tubos, Kg/ms^2
 ΔT_{Lm} – Diferença de Temperatura média logarítmica, K
 ρ - Densidade, Kg/m^3
 v - Velocidade, m/s

1. Introdução

Neste trabalho pretende-se descrever um processo industrial, (fabrico de smoothies de fruta natural), que utiliza a pasteurização como método para destruir organismos patogénicos, bem como seleccionar o tipo de equipamento mais apropriado e efectuar o seu dimensionamento.

Nos últimos anos nota-se um decréscimo, no consumo da fruta, que poderá ser justificado pelo acelerado ritmo de vida das pessoas, da falta de tempo para se preocuparem com a alimentação, comodismo, etc. Mas felizmente começa-se a notar uma procura crescente de fruta transformada, seja na forma de sumos, purés, sobremesas, seja incorporada noutros produtos alimentares. Neste contexto surge um novo produto, o smoothie. Uma característica deste produto é o facto de ser 100% natural, sem recurso a concentrados, sendo portanto um produto de alto valor biológico e vitamínico.

A marca de smoothie referida neste trabalho será denominada *Smoothie C*.

Os smoothies C são fabricados por uma empresa portuguesa, situada no distrito de Santarém, mas a sua produção é totalmente exclusiva para uma outra empresa, cuja marca é conhecida mundialmente.

Em Portugal, a Compal e a Frubaça (SoNatural) produzem alguns tipos de smoothies; na Europa existem várias marcas conhecidas que produzem smoothies como por exemplo a Chiquita e a Tropicana.

No entanto a diferença dos smoothies C para os outros é o conceito que neles é aplicado. Os smoothies C têm na sua composição a quantidade de Vitamina C óptima para o ser humano. E nesse aspecto são únicos. Existem três sabores de Smoothie C, Morango-Banana, Exótico de Laranja e Frutos Vermelhos.

2. Descrição do fabrico do Smoothie C

2.1. Definição de Smoothie

Um Smoothie é definido como uma bebida cremosa, feita à base de fruta. A diferença de um smoothie em relação a um sumo é a sua viscosidade e cremosidade. Os smoothies C são elaborados apenas com fruta, não tendo na sua constituição nenhum corante ou conservante. O único método utilizado para conservar este smoothie é através da pasteurização.

2.2. História e Evolução do Smoothie C

O objectivo primário do processamento de alimentos é transformar estes de modo a apresentá-los aos consumidores numa forma que lhes permita satisfazer as suas necessidades. A génese do desenvolvimento do processamento de alimentos prendia-se com a necessidade de aumentar o tempo de vida dos alimentos, tornando-os disponíveis durante um tempo suficientemente longo que permitisse o seu consumo antes que ocorresse a sua deterioração. Actualmente, este continua a ser um factor determinante na indústria alimentar. No entanto, novas necessidades por parte dos consumidores têm surgido, levando a indústria alimentar a responder a essas procura e a identificar necessidades emergentes que lhes permitam induzir o consumo de novos produtos [1].

Esta diferenciação e diversificação na procura revelam que a fruta continua a ser altamente valorizada do ponto de vista alimentar e que o seu consumo caminha rapidamente para soluções de conveniência mais adequada às exigências da vida moderna, passando assim, por alternativas mais práticas e novas formas de consumir fruta fresca [2].

Neste contexto surgiu a necessidade de fabricar um novo produto, os Smoothies C. Estes smoothies são fabricados apenas com fruta e têm um ingrediente muito especial, a acerola. A acerola é um fruto rico em Vitamina C e que contém 4000mg de vitamina C por 100g. Está provado que 100g de acerola tem 32 vezes mais vitamina C que 100g de laranja [3].

O nosso organismo não consegue produzir Vitamina C e também não têm capacidade para armazená-la, por isso o seu consumo diário é muito importante [3].

A vitamina C é um nutriente indispensável a inúmeras funções do organismo e contribui para o bom funcionamento do sistema imunitário. Existe uma relação directa entre a quantidade de Vitamina C consumida diariamente e os benefícios para a saúde, como a redução da fadiga, pois a vitamina C ajuda o organismo a conservar a sua energia; o rendimento normal do metabolismo energético, e contribui para o normal funcionamento psicológico, uma vez que ajuda a manter a concentração e a memória e também o bom humor; protecção dos constituintes celulares, devido à acção das agressões externas e à produção dos radicais livres pelo nosso metabolismo, as nossas células ficam afectadas, a vitamina C protege o nosso corpo e ajuda a manter as nossas células sãs [3].

2.3. Fluxograma do processo

Como referido anteriormente, os Smoothies C são fabricados em Portugal, através de um processo simples que envolve a pasteurização como método de conservação.

Para o fabrico industrial destes smoothies, são primeiro recepcionadas e armazenadas todas as matérias-primas e subsidiárias necessárias ao processo.

Posteriormente, as matérias-primas são transformadas, em sumo e polpa, e depois misturadas, dando origem a um produto cremoso que depois de pasteurizado é embalado e enviado para o mercado.

Neste ponto será abordado o respectivo fluxograma (figuras 1 e 2) e descrição das etapas de fabrico.

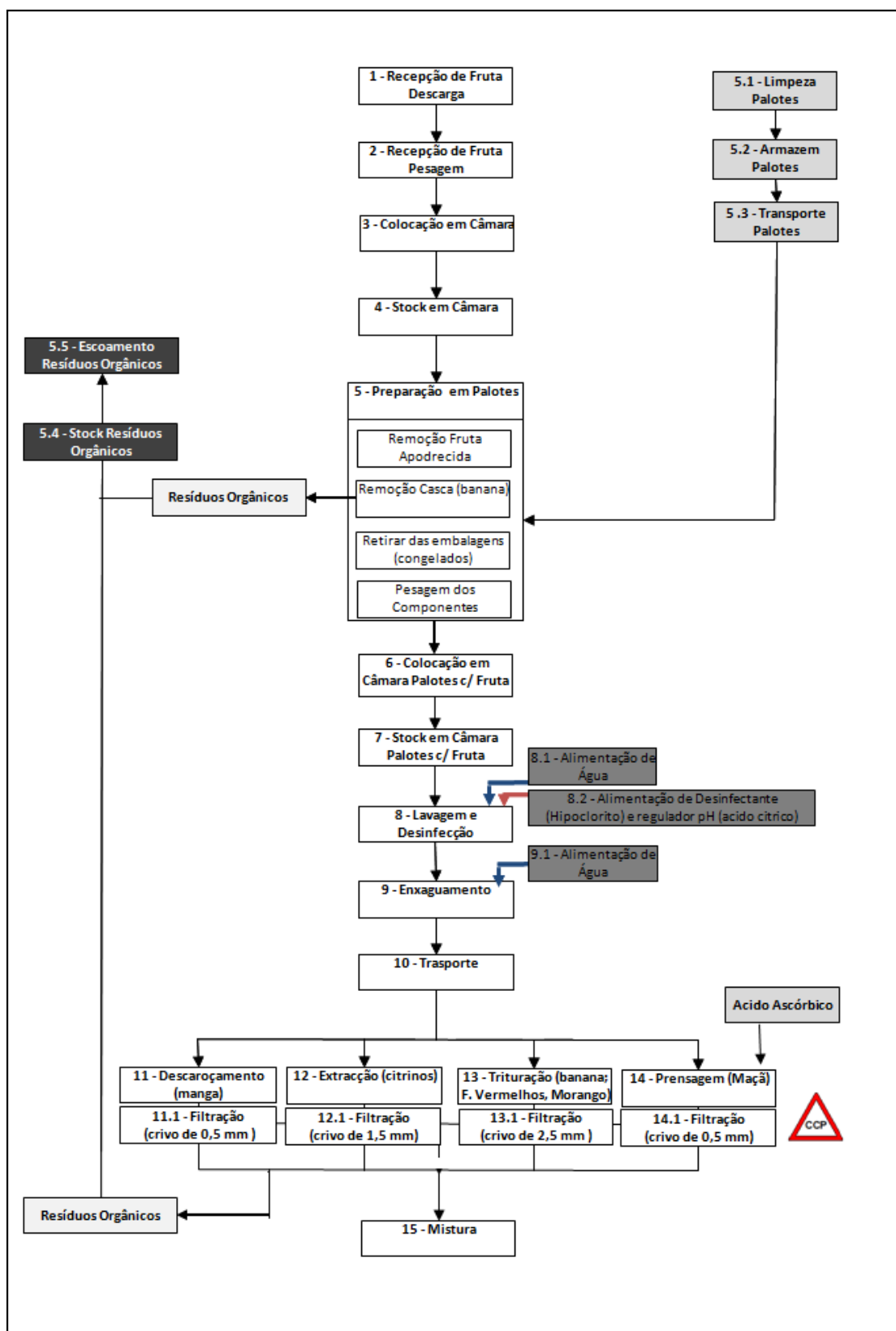


Figura 1 - Fluxograma de fabrico, e.p. .

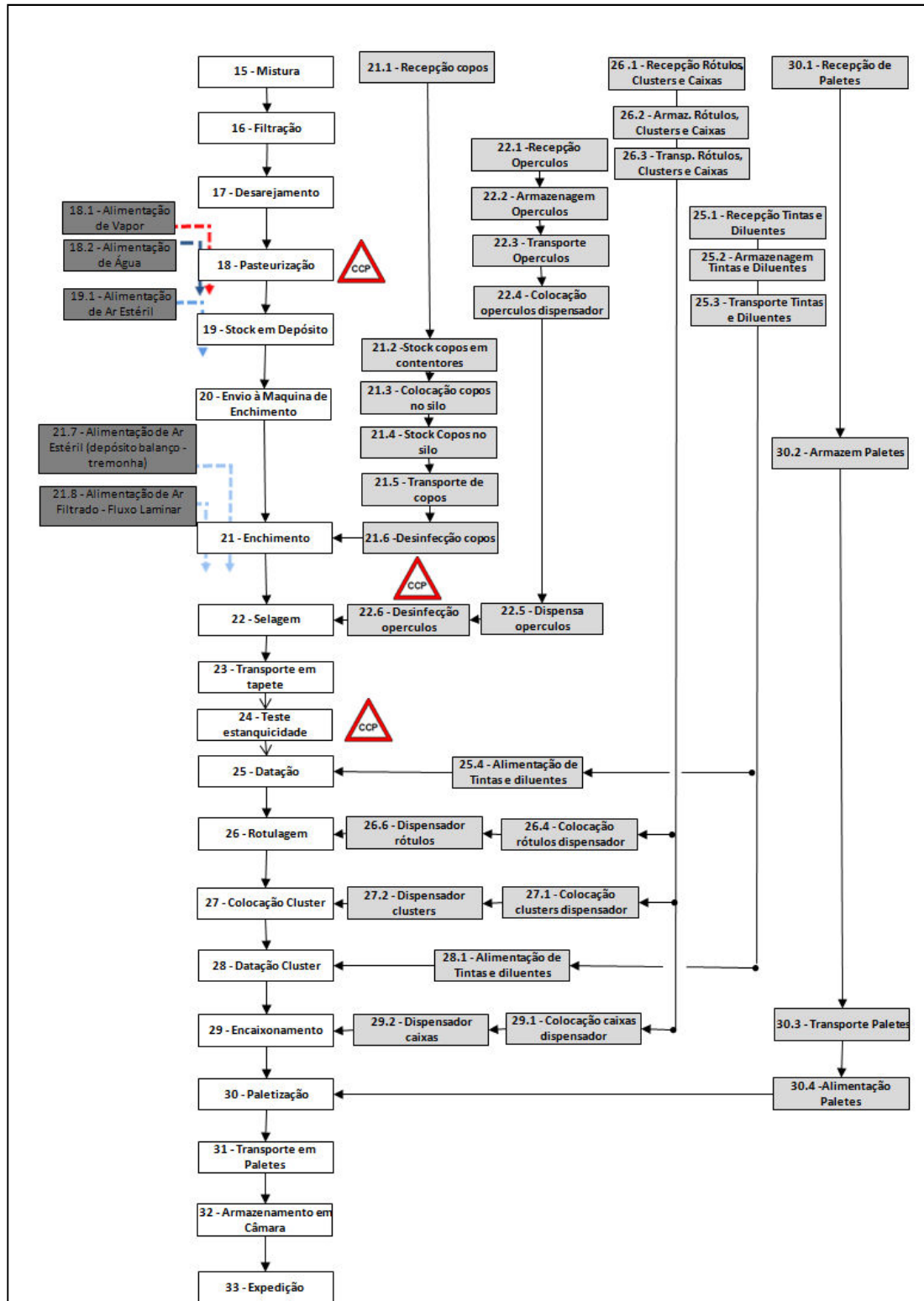


Figura 2 - Fluxograma de fabrico – continuação, e.p. .

2.3.1. Descrição das etapas 1-Recepção de fruta, 2-Pesagem, 3-Colocação em câmara e 4-Stock em câmara

A matéria-prima seleccionada para a elaboração dos sumos é o elemento mais importante tendo em conta o facto de se tratar de sumos frescos e o mais naturais possível. Desta forma a boa qualidade do produto final deve-se essencialmente a uma escolha criteriosa da fruta utilizada.

A matéria-prima utilizada é maçã, banana, laranja, acerola, morango, maracujá, manga, mirtilo e framboesa, que variam consoante a variedade do smoothie.

A recepção da fruta, é realizada no cais de recepção da fábrica. À chegada, as matérias-primas são pesadas e controladas de acordo com o plano de inspecção e ensaio estabelecido pela empresa.

São retirados aleatoriamente de cada lote cerca 2kg de amostra para determinação de °Brix, acidez, pH, rendimento e vitamina C.

A fruta é devidamente acondicionada e mantida refrigerada ou congelada até ser utilizada.

Existem três câmaras de armazenamento de fruta: uma câmara de -18°C, onde são armazenadas as frutas congeladas; uma câmara de 7 °C, onde são armazenadas as frutas não climatéricas (laranja e maçã); e uma câmara de 12 °C, onde são armazenadas as frutas tropicais (banana e manga).

Como a fruta é um produto que se degrada muito rapidamente não são armazenadas grandes quantidades em stock, apenas a suficiente para uma semana de produção com um excedente mínimo para o caso de ser necessário. Todas as semanas chegam novos carregamentos de fruta à empresa. Esta regra é apenas quebrada no caso de fruta congelada. A fruta congelada normalmente é proveniente de fornecedores estrangeiros e portanto, chega em maiores quantidades, ficando armazenada na câmara de congelados.

2.3.2. Descrição das etapas 5-Preparação em palotes, 6-Colocação em câmara e 7-Stock em câmara

Toda a fruta é preparada no dia anterior à produção e colocada em palotes. A preparação da fruta implica a remoção da fruta podre, remoção da casca da banana e pesagem dos componentes de forma a garantir as percentagens de cada fruta de acordo com a receita de cada smoothie.

Os palotes com fruta preparados são armazenados na câmara até à sua utilização.

Os resíduos orgânicos provenientes da preparação são colocados num contentor próprio para stock de resíduos orgânicos e serão posteriormente recolhidos por uma empresa legalizada para o tratamento de resíduos da indústria alimentar.

2.3.3 Descrição das etapas 8-Lavagem e Desinfecção, 9-Enxaguamento e 10-Transporte

Todo o processo de transformação da fruta é efectuado pela equipa de extracção.

Assim, no dia de produção, a primeira etapa é a de lavagem e desinfecção da fruta. A fruta entra num tanque de lavagem, é mergulhada numa solução desinfectante, com hipoclorito e ácido cítrico, e segue para a zona de enxaguamento.

A equipa de extracção efectua os controlos do tanque de lavagem pelo qual passa a fruta, de forma a controlar o valor do cloro e pH da água, que obedecem a uma gama de valores estipulados.

Através de tapetes rolantes (figura 3), a fruta é transportada para os diversos extractores. Nessa zona existem chuveiros, que procedem ao enxaguamento da fruta com água corrente, retirando os resíduos da solução de lavagem.



Figura 3 - Tapete transportador da fruta desde o tanque de lavagem até aos diversos extractores, e.p. .

2.3.4. Descrição da etapa 11-Descaroçamento

Alguns tipos de fruta, como a manga, têm de passar por este equipamento que, por acção mecânica extrai o caroço. A polpa resultante é encaminhada através de uma bomba para o extractor de fruta, para se obter uma polpa mais límpida e sem cascas.

2.3.5. Descrição da etapa 12-Extracção (Citrinos)

O processo de extracção depende do fruto ao qual se pretende extrair o sumo ou a polpa. No caso dos citrinos a extracção é realizada num extractor de citrinos.

No processo de extracção do sumo de laranja, tem-se como objectivo a retirar a quantidade máxima de sumo de fruta, sem incluir nenhuma parte da casca.

A figura 4 exemplifica esta etapa de extracção.



Figura 4 - Esquema da extracção de citrinos [4].

A extracção do sumo de laranja é feita de forma rápida para não afectar a qualidade, através de uma espécie de prensa mecânica. Os extractores de citrinos possuem taças, uma superior e outra inferior, onde as laranjas são fixadas e cortadas. O corte é feito para permitir que as cascas e as partes internas tenham acesso a um cilindro peneirador, a seguir a tampa superior move-se para baixo prensando a fruta e forçando o seu conteúdo interno a sair pelo cone inferior, extraíndo, assim, o sumo [5].

2.3.6. Descrição da etapa 13-Trituração

A extracção do sumo ou polpa das restantes frutas é feita utilizando um sistema de pressão contínua aplicada aos sólidos que entram pela alimentação da máquina de extracção [5].

O parafuso de pressão (esquematisado na figura 5) consiste num cilindro horizontal robusto contendo um parafuso helicoidal (sem-fim) em aço inoxidável [5].

O diâmetro do parafuso helicoidal vai diminuindo gradualmente, no sentido da descarga final, a fim de aumentar a pressão sobre o material que transporta [5].

A secção final do barril é perfurada para permitir a saída do líquido espremido [5].

Os resíduos sólidos são descarregados pela saída do cilindro e a pressão no interior do mesmo é regulada ajustando o diâmetro da “porta” de descarga [5].

Este cilindro pode ser refrigerado, na extracção do sumo, para diminuir o calor gerado pelo atrito da circulação dos alimentos, que pode ter um efeito indesejável no sabor e aromas [5].

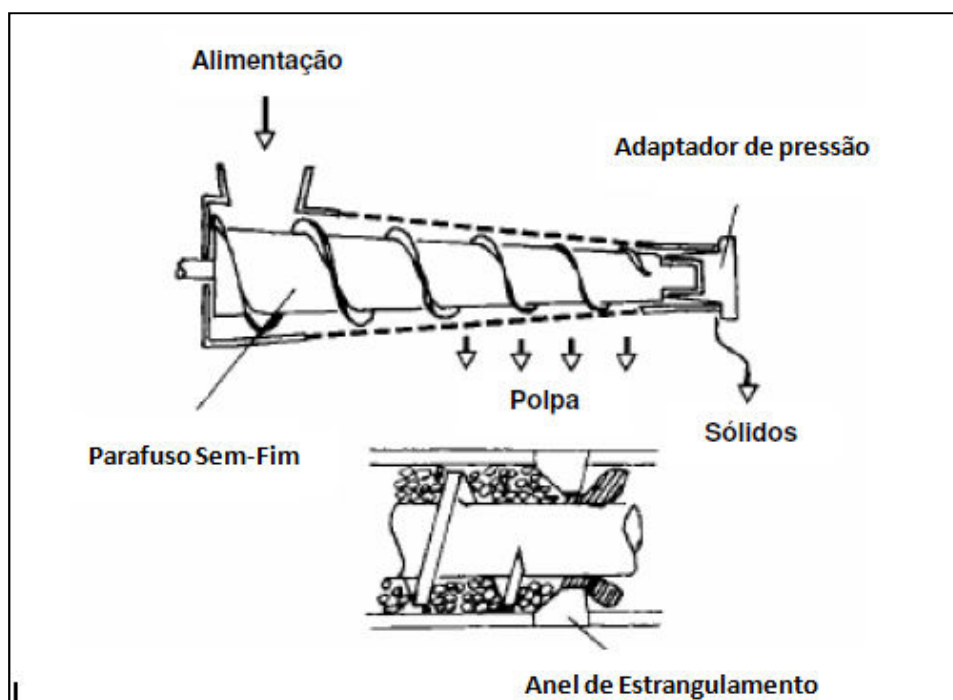


Figura 5 - Esquema de funcionamento do parafuso de pressão para a extracção de sumos [5].

Este sistema de extracção é utilizado para as polpas que saem do descaroçador, a fim de retirar os restos de cascas e outras partes do fruto que ainda possam conter e reduzir o tamanho das partículas da polpa [5].

O produto segue por tubagens e é impulsionado por uma bomba para o tanque de balanço da unidade de pré-tratamento. A função do tanque de balanço é regular o caudal de alimentação ao pasteurizador [5].

2.3.7. Descrição da etapa 14-Prensagem

A maçã pode ser extraída pelo método acima descrito ou então por uma prensa. Isto depende se se pretende obter a polpa ou o sumo da maçã. Esta decisão depende da viscosidade que se pretende obter no produto final.

Os desperdícios resultantes da extracção (etapas 11, 12, 13 e 14) são retirados ao fim de cada produção e recolhidos por uma empresa legalizada para o tratamento de resíduos de indústria alimentar.

2.3.8. Descrição da etapa 15-Mistura

À medida que as frutas são extraídas, o seu sumo e polpa são enviados para um tanque de mistura (figura 6), também denominado de tanque de balanço, com agitação, de modo a juntar bem todos os ingredientes e homogeneizar a mistura. Obtém-se assim o smoothie desejado.

Procede-se à recolha de uma amostra do smoothie e são analisados os parâmetros sensoriais e físico-químicos (^oBrix, acidez, pH, viscosidade e vitamina C), para confirmar que se encontram de acordo com as especificações. Se sim, o smoothie segue para a etapa seguinte, caso contrário fazem-se os acertos necessários.

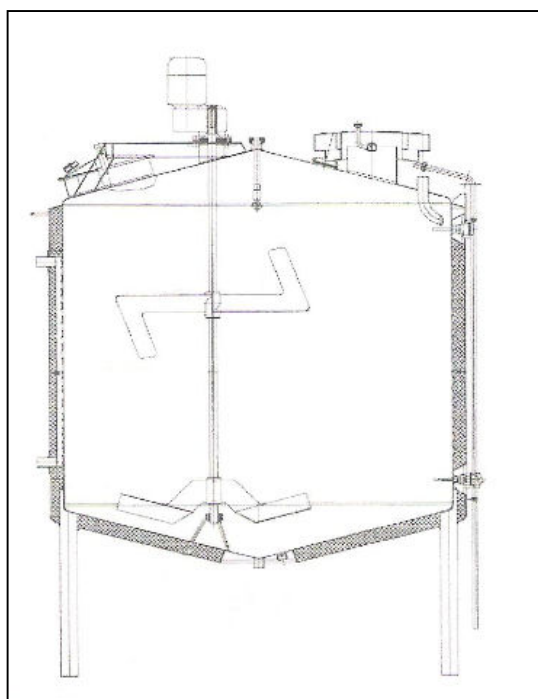


Figura 6 - Esquema representativo do tanque de mistura, e.p. .

2.3.9. Descrição das etapas 16-Filtração e 17-Desarejamento

Antes de ir para o pasteurizador, o smoothie é filtrado e enviado para um tanque pulmão que serve de apoio ao sistema para ajustar tempos e caudais de entrada no pasteurizador. De seguida, é pré-aquecido e enviado a um permutador tubular para condensação de aromas com aplicação de água fria. O smoothie é sujeito a um processo de extracção de ar e substâncias voláteis, os aromas. Estes são recuperados e incorporados no smoothie, logo

após a saída da autoclave. Este processo tem como objectivo retirar ar do sumo evitando assim proliferação de bactérias e microrganismos aeróbios, bem como de oxidações [5].

Nos sumos de fruta a principal causa para a deterioração é o acastanhamento pela enzima polifenoloxidase que provoca oxidação no produto. Isto é promovido pela presença de oxigénio e é um dos motivos pelo qual o sumo de fruta sofre um desarejamento antes da pasteurização. O produto passa numa câmara de vácuo e o ar dissolvido é removido por uma bomba [6].

2.3.10. Descrição das etapas 18-Pasteurização e 19-Stock em depósito

O smoothie segue em circuito fechado até ao pasteurizador, onde é submetido ao programa térmico definido que garanta a segurança do produto final.

Associado ao circuito tubular do pasteurizador está uma serpentina de arrefecimento com água gelada que promove o arrefecimento do sumo para os 4°C [5].

Sempre que por qualquer razão a temperatura de pasteurização e arrefecimento não seja atingida, o pasteurizador emite um sinal de alarme e o sistema pára. O produto regressa ao tanque de balanço, entrando em recirculação até que a situação seja reposta.

Quando pasteurizado, o produto é enviado para um tanque asséptico, até ao momento do enchimento (como se pode verificar no esquema da figura 7).

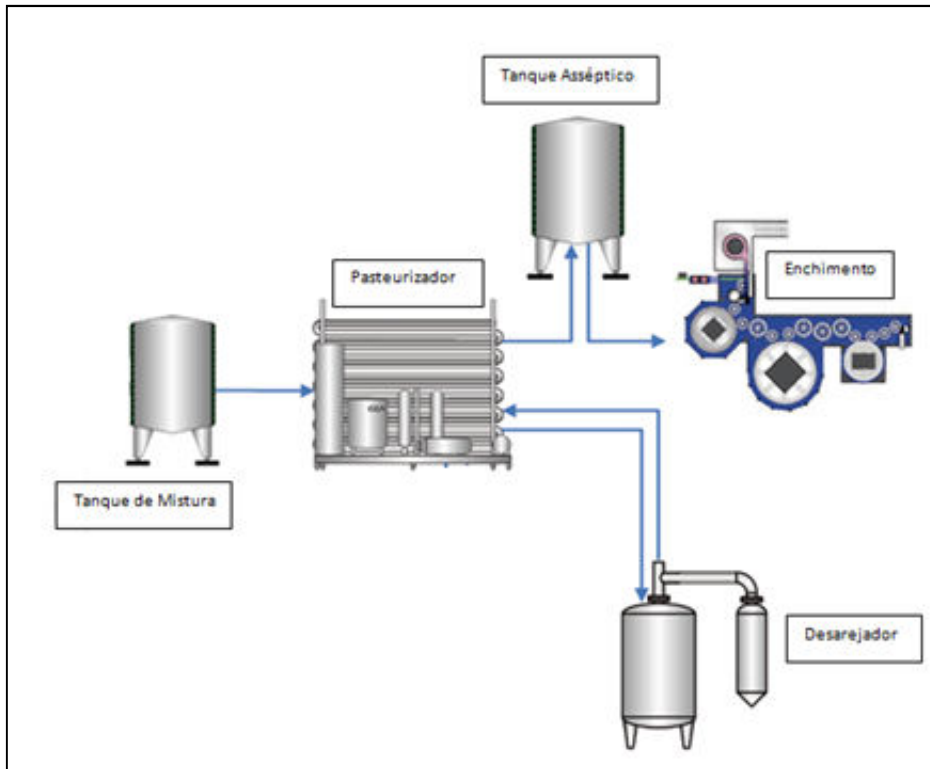


Figura 7 - Esquema da uma zona de pasteurização [8].

2.3.11. Descrição das etapas 20-Envio à máquina de enchimento e 21-Enchimento

Para a etapa de enchimento é necessário que todo o material (smoothie e matéria subsidiária) esteja pronto. O enchimento é efectuado numa enchedora ERMI que tem a vantagem de, além de encher o smoothie numa câmara de ar filtrado (fluxo laminar), fazer toda a limpeza e desinfecção dos copos e dos opérculos, sem nunca ser necessária a intervenção manual. Assim, quando o produto sai da enchedora já está completamente fechado e já não existe perigo de contaminação. Todas as etapas desde o ponto 20 até ao ponto 24 são realizadas na enchedora.

Para este processo, quando os copos chegam à fábrica são armazenados num silo específico. Através de passadeiras rolantes, estes seguem até à zona da enchedora. Dentro da enchedora é efectuada a desinfecção dos copos por lavagem com peróxido de hidrogénio, seguido de secagem com ar estéril. O smoothie é então enviado para o depósito da enchedora. Assim inicia-se o processo de enchimento.

Na figura 8 está esquematizada uma enchedora ERMI. Esta enchedora está preparada para encher copos de plástico, vidro e alumínio. Neste caso os copos são de PET e de 125ml. Tem uma capacidade de enchimento de 5000 a 40000 copos por hora, está integrada com um sistema de CIP, faz esterilização a vapor (140°C) e mantém um nível de higiene Ultra Clean durante todo o funcionamento [9].

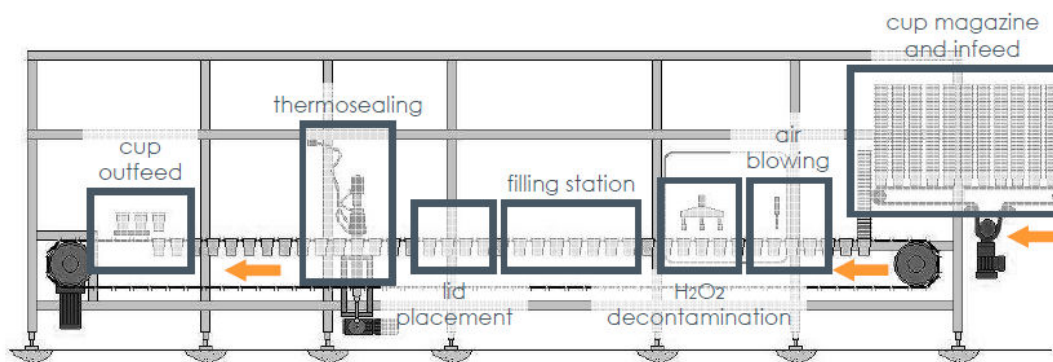


Figura 8 - Esquema da enchedora ERMI [9].

2.3.12. Descrição da etapa 22-Selagem

Nesta etapa os opérculos são colocados em dispensadores pelo operador da máquina. Através de ventosas, são puxados e é efectuada a sua descontaminação (processo igual ao dos copos). Em seguida, os opérculos são colocados no topo dos copos já com produto (figura 9).



Figura 9 - Copos antes e após a colocação dos opérculos [9].

Através de cabeças de selagem (figura 10), que atingem temperaturas de 240°C o opérculo fica selado ao copo.



Figura 10 - Cabeças de selagem a selar os copos [9].

2.3.13. Descrição das etapas 23-Transporte em tapete e 24-Teste de Estanquicidade

Após a selagem, os copos são transportados para a saída da enchedora. Nesse ponto, por diferença de pressão, é efectuado o controlo de estanquicidade das embalagens. Se, com o aumento de pressão, as embalagens se mantiverem seladas, estas seguem no tapete para as etapas seguintes; se as embalagens se abrirem, são expulsas automaticamente através do sopro por ar comprimido.

2.3.14. Descrição da etapa 25-Datação

No opérculo é impressa a codificação do produto. É impressa a validade, a hora de enchimento e o sabor correspondente.

2.3.15. Descrição da etapa 26-Rotulagem

Através de tapetes rolantes as embalagens passam na rotuladora. É colocado um rótulo diferente por cada variedade de smoothie.

2.3.16. Descrição das etapas 27-Colocação no cluster e 28-Datação do cluster

A etapa seguinte é a colocação dos copos na embalagem final. São então agrupados 4 copos de smoothie num cluster. Existem três clusters diferentes, um para cada variedade de smoothie. Esta operação é efectuada numa máquina Aries (exemplificada na figura 11). Os clusters são colocados abertos numa zona específica. Através de ventosas, são agarrados (um a um) e colocados em cima dos copos de modo a agrupá-los. As extremidades dos clusters são coladas automaticamente, de forma a agrupar os quatro copos de smoothie. Quando já estão colados, passam num datador, que coloca a data de validade no topo do cluster.



Figura 11 - Máquina de formação dos clusters [10].

2.3.17. Descrição da etapa 29-Encaixotamento

Os clusters são colocados num tabuleiro antes de serem paletizados. Cada tabuleiro é composto 6 clusters. Esta etapa é efectuada numa máquina Tecmapack. A máquina forma os tabuleiros e coloca os clusters no seu interior.

2.3.18. Descrição das etapas 30-Paletização e 31-Transporte em paletes

Depois de formados os tabuleiros, estes seguem para o paletizador. O paletizador coloca os tabuleiros na paleta, na posição pretendida e até uma altura de 17 filas. As paletes seguem até à câmara de produto final (cujas temperaturas estão compreendidas entre 0 e 4°C).

2.3.19. Descrição das etapas 32-Armazenamento em câmara e 33-Expedição

As paletes são filmadas e armazenadas na câmara de produto final até à sua expedição. O produto é posteriormente colocado na rede de distribuição, com destino a França e Bélgica.

A temperatura é um factor exógeno de máxima importância no processamento de produtos frescos. A refrigeração durante a preparação, conservação e distribuição é um ponto crítico e indispensável no circuito de produção deste produto. Por um lado, as baixas temperaturas reduzem a actividade enzimática com a consequente redução da actividade fisiológica, por outro, induzem um certo controlo microbiano. Assim o tempo de vida útil do produto, está directamente influenciado pela temperatura [2].

Em 1985, o “Código Francês das Boas Práticas Profissionais” recomendava a manutenção da temperatura de 8°C ao longo de toda a cadeia de produção e distribuição de produtos hortofrutícolas minimamente processados. No final da década de 80, esta temperatura foi diminuída para valores de 4-6°C, temperatura esta que é a definida para este produto [6].

3. Processo de Pasteurização

3.1 Introdução

Tendo em conta as características do produto pretendido a nível de preservação de nutrientes, vitaminas e qualidades organolépticas o tratamento térmico escolhido foi a pasteurização, aliada a outros métodos de conservação, tais como, a incidência do pH e a conservação em ambiente refrigerado.

O processo de pasteurização foi desenvolvido por Louis Pasteur, que em meados do século XIX realizou estudos referentes ao efeito letal do calor sobre os microrganismos, e o seu uso como sistema de conservação. Quando se fala de pasteurização entende-se por um tratamento a baixas temperaturas (inferior a 100°C), e de baixa intensidade, em contraposição com a esterilização, termo que se reserva para os tratamentos mais intensos aplicados a temperaturas mais elevadas [7].

3.2 Definição de Pasteurização e suas vantagens

A pasteurização é um tratamento térmico em que as temperaturas alcançadas e o tempo de exposição das mesmas permitem eliminar os microrganismos perigosos para a saúde do ser humano [6].

A pasteurização é então um tratamento térmico de baixa intensidade, que tem como objectivo, no caso dos sumos de frutas, conseguir uma estabilização do produto de forma a respeitar as suas qualidades organolépticas, uma vez que não são necessárias temperaturas mais elevadas pois em meios ácidos é difícil o crescimento de bactérias esporuladas [7].

Garantindo a inocuidade do produto no momento da sua concepção, salvaguardando as melhores condições de higiene na sua fabricação consegue-se minorar o risco de desenvolvimento de floras não desejáveis. Assim, se as condições de conservação forem as mais correctas, o risco estará minimizado, i.e. se pensarmos na óptica do consumidor, a interrupção da cadeia de frio é uma prática comum. O tempo que o consumidor leva do estabelecimento onde adquiriu o produto até sua casa, já está a alterar as condições ideais de conservação deste produto fresco [6].

3.3 Destruição de microrganismos pelo calor

O conceito de perigo em alimentos foi definido pela Comissão do *Codex Alimentarius* como qualquer propriedade biológica, física ou química, que possa tornar um alimento prejudicial para consumo humano. A International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF) definiu como perigo uma qualquer contaminação, crescimento inaceitável, ou sobrevivência de bactérias em alimentos que possam afectar a sua inocuidade, qualidade (deterioração), e produção ou persistência de substâncias como toxinas, enzimas ou produtos resultantes do metabolismo microbiano em alimentos [1].

Os perigos devem ser de tal natureza que a sua eliminação ou redução a níveis aceitáveis seja essencial para a produção de alimentos inócuos [1].

Em geral as leveduras e bolores toleram melhor a acidez que as bactérias. Dentro das bactérias patogénicas os microrganismos do género *Vibrio* e *Clostridium* são mais sensíveis a variações do pH do que a maior parte das bactérias, enquanto a *Escherichia Coli*, *Salmonella* e *Staphylococcus aureus* são as mais resistentes. Esta última, ainda que resista a um pH de 4,2, sofre uma forte redução do seu crescimento. Os casos dos sumos, tratando-se de alimentos ácidos, não são facilmente alterados por bactérias, sendo mais sensíveis as alterações por bolores e leveduras [7].

3.3.1 Termoresistência Microbiana

A eficácia da aplicação de tratamentos térmicos na eliminação dos microrganismos no alimento está dependente da temperatura aplicada, do período de tempo e de quais os microrganismos presentes. A destruição térmica dos microrganismos pelo calor deve-se à desnaturação das suas proteínas e enzimas necessárias ao metabolismo celular. No entanto muitos formam esporos, que resistem a elevadas temperaturas. Na tabela 1 apresentam-se as temperaturas limite de sobrevivência para os microrganismos patogénicos, que são os que introduzem maior perigo e preocupação [2].

Tabela 1 - Principais condições para a ocorrência de alguns dos principais perigos biológicos [1].

Perigos	Parâmetros			
	Tmin (° C)	Tmáx (° C)	pHMin	pHMáx
<i>Bacillus cereus</i>	5	55	4.9	8.8
<i>Campylobacter jejuni</i>	32	45	4.9	9.0
<i>Clostridium botulinum</i>	10	50	4.6	8.5
<i>Clostridium botulinum</i>	3	45	4.6	8.5
<i>Clostridium perfringens</i>	12	50	5.5	9.0
<i>Escherichia coli</i>	7	46	4.4	9.0
<i>Listeria monocytogenes</i>	0	45	4.39	9.4
<i>Salmonella spp.</i>	5	47	4.2	9.5
<i>Shigella spp.</i>	7	47	4.9	9.3
<i>Staphylococcus aureus</i> - crescimento	7	48	4	10
<i>Staphylococcus aureus</i> - toxina	10	46	4.5	9.6
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	5	43	4.8	11
<i>Vibrio cholerae</i>	10	43	5	10
<i>Vibrio vulnificus</i>	8	43	5	10.2
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-1	42	4.2	9.6

Os microrganismos e os seus esporos são destruídos pelo calor quando se submetem a uma temperatura alta durante tempo suficiente. A temperatura e tempo necessários para destruir um microrganismo e os seus esporos dependem da sua termoresistência [6].

Nos alimentos ácidos, só encontramos microrganismos muito sensíveis ao calor, que podem ser destruídos, como já foi dito, por um tratamento térmico ligeiro. Nestes alimentos desenvolvem-se bactérias não esporuladas muito sensíveis ao calor (as mais termo resistentes podem destruir-se a 88°C), leveduras e bolores, estes últimos não

suportam os meios anaeróbios. Por isso a estabilidade procurada pode encontrar-se com um tratamento de pasteurização, que também conseguirá a inactivação da enzima, evitando assim as reacções de escurecimento ou outras reacções enzimáticas que levem à deterioração do produto [7].

3.3.2 Combinação Tempo/Temperatura

A combinação da temperatura e tempo de acção é muito importante já que determina a intensidade do tratamento térmico, como se pode verificar na figura 12 [6].

Dependendo do tipo de sumo e viscosidade é ajustada a temperatura de pasteurização. Tem-se em conta que sumos mais viscosos necessitam de maiores temperaturas, pois a transferência de calor, dá-se mais lentamente [6].

Geralmente o factor limitante dos tratamentos de pasteurização é a sua acção sobre as características organolépticas e nutricionais dos alimentos tratados. A escolha da temperatura e tempo de tratamento é condicionada pela preservação das características sensoriais, impedir a destruição das vitaminas e evitar o aparecimento do sabor a cozido, que deteriora irreversivelmente o produto. Quanto maior é a temperatura do tratamento, menos tempo de acção é necessário [7].

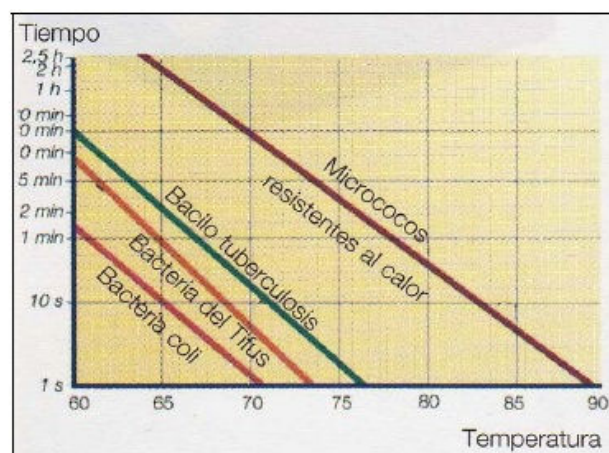


Figura 12 - Relação tempo/temperatura para eliminação de alguns microrganismos [6].

3.4 Equipamento de Pasteurização

Uma instalação completa de pasteurização é constituída de uma primeira zona de aquecimento, uma segunda zona de mantimento da temperatura e um terceira zona de arrefecimento, bombas, sistemas de medida e controlo e todos os acessórios necessários para um processo preciso e eficiente. As zonas onde se realiza a transferência de calor são os permutadores de calor do tipo mais adequado para o produto e de forma a minimizar o consumo energético. O calor necessário para o processo é proveniente de água quente. O arrefecimento final é realizado com água fria [11].

Na figura 13 está representada a unidade de pasteurização utilizada na produção dos smoothies C.



Figura 13 - Fotografia da unidade de pasteurização dos smoothies C, e.p. ..

3.5 Tipos de Pasteurizadores

Dependendo do tipo de permutador são classificados diferentes tipos de pasteurizadores. Os permutadores são o núcleo central de um sistema de pasteurização.

Um permutador de calor é um sistema físico que permite transferir calor entre dois fluidos separados por uma parede sólida. O calor é transferido sem que haja mistura entre os fluidos [6].

3.5.1 Pasteurizadores Tubulares

Existem vários modelos constituídos fundamentalmente por feixe de tubos cujos elementos se unem por meio de tubos em aço inoxidável. A mistura circula nos tubos, onde é aquecida por água que corre em contra corrente [6].

Neste grupo constam todos os permutadores de calor em que a superfície de intercâmbio é formada por tubos, qualquer que seja a sua disposição. Com estes equipamentos podem-se tratar líquidos de viscosidade baixa, média e inclusive alta em alguns modelos e de acordo com o diâmetro dos tubos [7].

Os pasteurizadores tubulares são mais caros, mas o seu rendimento é excelente. Apesar de serem muito utilizados, nos últimos anos estão a ser substituídos pelos permutadores de placas [6].

3.5.1.1 Permutadores de tubos coaxiais ou concêntricos

Estes permutadores são compostos por uma série de tubos concêntricos de aço inoxidável unidos uns aos outros. O alimento passa no interior do tubo e a água quente ou fria é recirculada nas paredes do tubo [11].

Este tipo de permutadores pode ser construído na forma de tubo corrugado monocanal ou na forma de multicanal (figura 14).



Figura 14 - Permutador de calor de forma multicanal
[6].

3.5.1.2 Permutadores de superfície raspada

Estes permutadores são especialmente desenhados para produtos de viscosidade elevada (por exemplo purés e concentrados de fruta). É constituído por dois tubos concêntricos, dispostos, quase sempre, em posição vertical. O produto circula no espaço central e o fluido de aquecimento passa em contracorrente por entre os tubos, formando uma camisa de aquecimento. O espaço central dispõe de um rotor com uma série de raspadores que conseguem manter uma agitação contínua do produto, evitando a formação de depósitos na superfície de intercâmbio. Na figura 15 está esquematizado um permutador deste tipo [7].

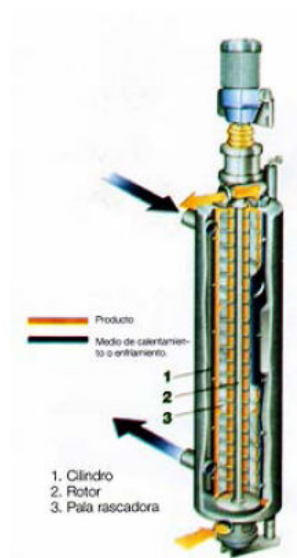


Figura 15 - Permutador de calor de superfície raspada [7].

3.5.1.3 Permutadores multitubulares

Estes permutadores podem ser formados com tubos em U (como mostra a figura 16) ou em tubos rectilíneos (como mostram as figuras 17 e 18).

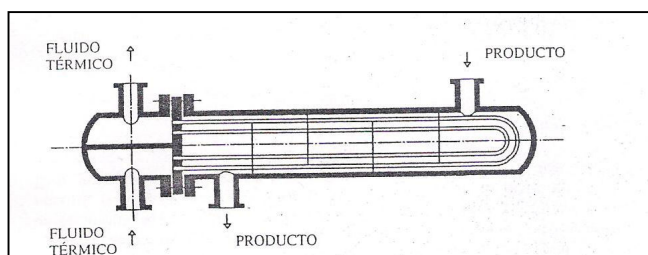


Figura 16 - Permutador de calor multitubular em U [7].

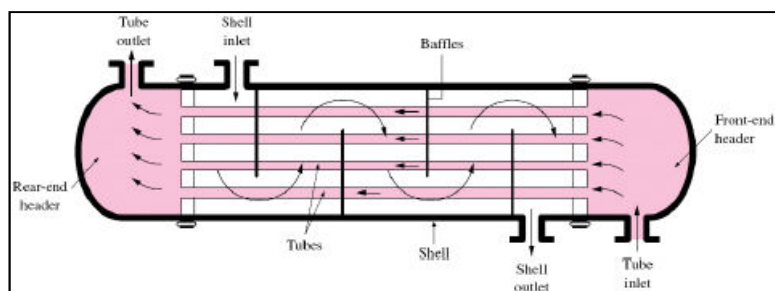


Figura 17 - Permutador de calor multitubular de tubos retilíneos [12].

Nestes equipamentos um dos fluidos circula no interior dos tubos e o outro circula entre os tubos e o meio envolvente.



Figura 18 - Permutador multitubular [6].

3.5.2 Pasteurizadores de Placas

Este tipo de permutadores são actualmente os mais utilizados nas indústrias agro-alimentares. São compostos por placas de aço inoxidável e com espessura de 0,6 a 0,8mm (figura 19) [11].

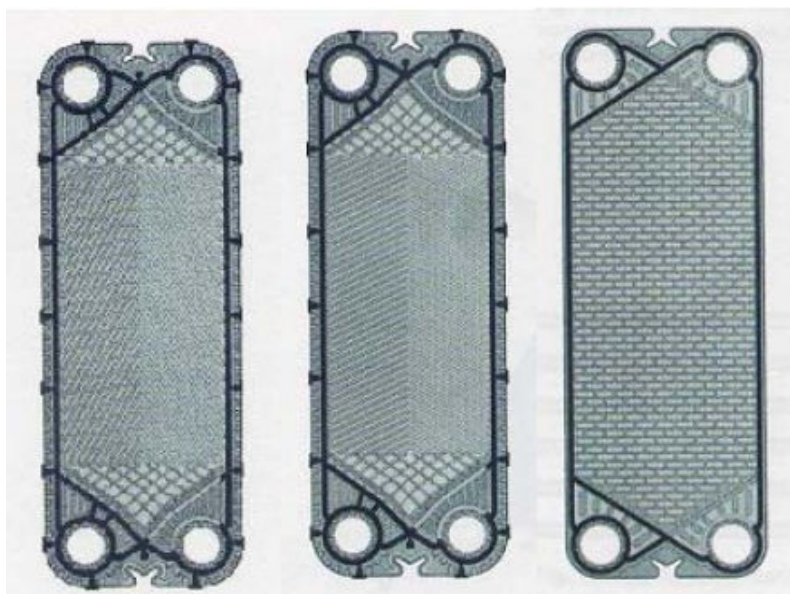


Figura 19 - Exemplos de placas [6].

Cada par de placas adjacentes forma um canal e os fluidos circulam por canais alternativos. Assim, cada placa está em contacto com os dois fluidos, como se mostra na figura 20.

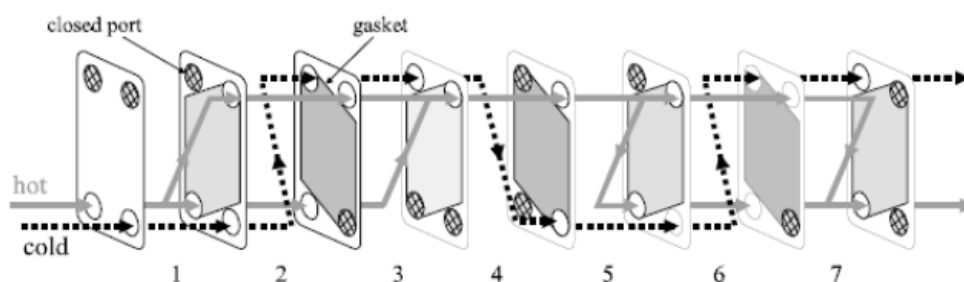


Figura 20 - Circulação dos fluidos num permutador de placas [6].

Para produtos de baixa viscosidade (por exemplo vinho, sumos) são normalmente utilizados permutadores de calor de placas. No caso de alimentos mais viscosos (por exemplo maionese, comidas para bebés) utilizam-se permutadores de calor de tubos concêntricos [11].

3.6 Tipos de Pasteurização

Normalmente estão definidos três sistemas de pasteurização:

- baixa temperatura durante um longo tempo (LTLT: low temperature-long time) - por exemplo no caso do leite que se mantém o produto a 63°C durante 30 minutos, de forma a destruir os microrganismos sem afectar as proteínas [11].

- alta temperatura durante um curto tempo (HTST: high temperature-short time) – por exemplo nos sumos de fruta em que se aquece o produto entre 77 a 93°C durante um período de 15 a 60 segundos. Neste caso as propriedades dos produtos são pouco afectadas porque, apesar das temperaturas serem elevadas, o processo é rápido [11].

- tratamento a temperatura ultra elevada (UHT: ultra high temperature) – em que o produto atinge uma temperatura de 100 a 130°C durante 1 a 40 segundos. Este método melhora a consistência e a textura dos produtos devido às modificações que produz na estrutura e propriedades das proteínas [6].

3.7 Circulação dos fluidos

Existem duas opções principais para determinar a circulação dos fluidos num permutador de calor, fluxo em contracorrente ou fluxo em paralelo.

3.7.1 Fluxo em contracorrente

Como se pode ver na figura 21, a entrada dos fluidos ocorre em extremos opostos do permutador de calor. À medida que o produto percorre o permutador vai-se encontrando com o fluido de aquecimento cada vez mais quente. O produto aquece e mantém, em cada distância, uma pequena diferença de temperatura com o fluido de aquecimento, como se mostra na figura 22 [6].

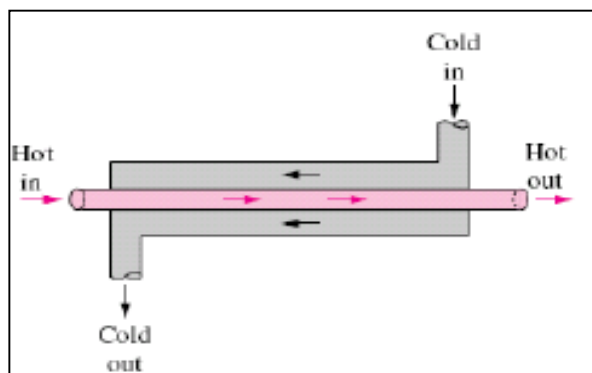


Figura 21 - Permutador de calor com fluxo em contracorrente [12].

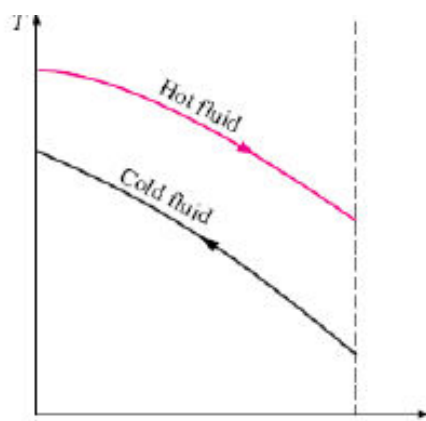


Figura 22 - Evolução das temperaturas do produto e do fluido de aquecimento num processo em contracorrente [12].

3.7.2 Fluxo em paralelo

Quando a entrada do produto e do fluido térmico ocorrem pelo mesmo extremo do permutador, dá-se o fluxo em paralelo (como se pode ver na figura 23) [7].

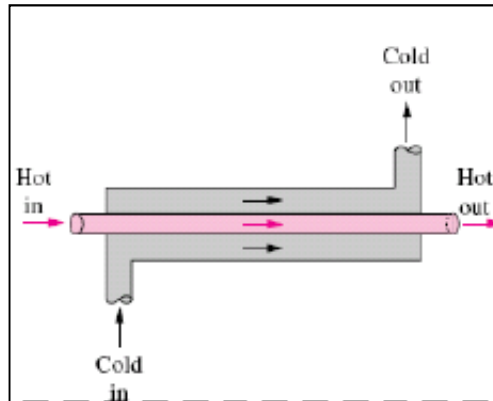


Figura 23 - Permutador de calor com fluxo em paralelo [12].

Neste caso o produto encontra-se à entrada com o fluido térmico na temperatura máxima. À medida que passam no permutador, o produto vai aquecendo e o fluido arrefecendo. Na figura 24 pode-se verificar a evolução destas temperaturas [7].

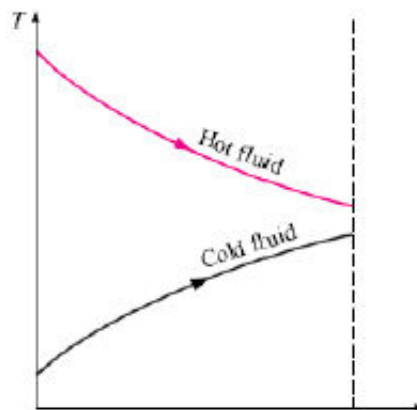


Figura 24 - Evolução das temperaturas do produto e do fluido de aquecimento num processo em paralelo [12].

Num processo com fluxo em paralelo é impossível conseguir um grande aquecimento do produto. No caso de fluxo em contracorrente esta limitação não acontece, pois o produto pode aquecer até uma temperatura muito próxima da temperatura de entrada do fluido térmico [7].

3.8 Sistemas de aquecimento nos pasteurizadores

Os meios de aquecimento mais utilizados são a água quente e o vapor a vácuo mas este último está em desuso [6].

3.8.1 Sistemas de aquecimento com água

As caldeiras produzem vapor a uma pressão de 600/700 KPa. Este vapor utiliza-se para aquecer a água, e alcançar a temperatura de pasteurização desejada [6].

A água quente, por meio de uma bomba, circula pela secção de pasteurização, onde cede calor ao produto. A água que sai desta secção volta novamente à caldeira para iniciar um novo ciclo. Os aquecedores de água podem ter vários tamanhos com capacidades desde 250 a 7500 litros de água quente produzida por hora. O consumo de vapor varia desde os 300 Kg/hora a 2800 Kg/hora [6].

Consegue-se manter uma temperatura constante de pasteurização graças a um controlador que actua sobre a válvula de regulação de vapor [6].

3.8.2 Sistemas de aquecimento por vapor

Uma bomba de vácuo reduz a pressão dos canais onde circula o meio de aquecimento até alcançar um valor determinado. O vapor condensa a uma temperatura de, por exemplo, 75°C, nas superfícies de transferência térmica, que são arrefecidas pelo produto que se encontra no outro lado. O vapor condensado sai no fundo do permutador de calor graças a uma bomba de vácuo. A temperatura de pasteurização mantém-se constante por um transmissor na linha do produto, por um controlador e por uma válvula reguladora de vapor que opera a vácuo [6].

3.8.3 Sistemas de arrefecimento

Para arrefecer o produto é necessário usar um meio frio, com temperatura de cerca de 8°C. O caudal de arrefecimento é enviado ao pasteurizador com o objectivo de manter uma temperatura constante de saída do produto [6].

4. Propriedades Físico-químicas do Smoothie C

A avaliação da qualidade consiste num conjunto de análises químicas, microbiológicas e sensoriais efectuadas às matérias-primas, subsidiárias, auxiliares tecnológicos, equipamentos após lavagem, ao produto em fase de acertos e ao produto final. Têm por objectivo garantir que o produto está de acordo com todas especificações, garantido por um lado a sua inocuidade e segurança para o consumidor e por outro lado a consistência dos seus atributos e características sensoriais satisfatórias [5].

Relativamente à estabilidade microbiológica do produto, torna-se indispensável controlar valores de parâmetros químicos como acidez e pH, para que estes sejam limitantes à actividade de bolores, leveduras e bactérias. No entanto, e de acordo com as especificações do smoothie, são controlados também a viscosidade, vitamina C e °Brix.

4.1 Viscosidade

A viscosidade é a resistência do fluido à deformação que resulta no seguinte: quando se dá o escoamento de um fluido há um movimento relativo das suas partículas que suscita um atrito interno entre as mesmas. É este atrito interno que se designa por viscosidade [13].

A coesão molecular é a causa dominante da viscosidade dos líquidos. À medida que a temperatura do líquido aumenta, estas forças coesivas diminuem, resultando na diminuição da viscosidade [14].

A viscosidade é uma característica importante nos alimentos líquidos. Esta altera-se com a temperatura e tem efeitos importantes, por exemplo, na potência necessária para bombear estes produtos [11].

Como referido anteriormente, a viscosidade dos produtos tem influência na escolha do pasteurizador. Para produtos de baixa viscosidade (por exemplo vinho, sumos) são normalmente utilizados permutadores de calor de placas. No caso de alimentos mais viscosos (por exemplo maionese, comidas para bebés) utilizam-se permutadores de calor de tubos concêntricos [11].

A viscosidade pode então ser definida como a resistência interna de um líquido a fluir. A viscosidade dos smoothies C foi medida num viscosímetro Brookfield DV-II+Pro. Foi

utilizado um volume de 150ml de amostra (num gobelé de 200ml), com a temperatura entre 7 e 11°C, pois a sua medição é afectada pela temperatura. Se a medição é feita a uma temperatura mais alta o valor da viscosidade diminui, se a medição é feita a temperaturas mais baixas a viscosidade aumenta. É usada uma velocidade de rotação de 200 rpm e usado sempre o spindle 63.

4.2 Brix

A escala de Brix tem vindo a ser usada pela indústria de sumos de frutas na determinação da sacarose equivalente aos sólidos solúveis [5].

O princípio refractivo deste tipo de medida estende-se na variabilidade da velocidade da luz através de dois meios com densidade diferentes. Uma mudança do ângulo de refacção permite a medição da densidade dos sumos. Como a luz passa através do sumo a uma certa densidade e através do vidro do prisma a outra densidade, a qual pode ser traduzida em concentração ou °Brix [5].

A adição de açúcares está limitada pelo conceito inerente ao produto. Recorre-se unicamente a extractos de fruta para ajustar o °Brix. O seu uso, também para efeitos de rotulagem, é perfeito na medida em que apresenta “Clean Label Concept”, isto é, não tem de ser declarado como açúcar. Permite a sua declaração e rotulagem com um marketing positivo “açúcares provenientes da fruta” [2].

O teor de sólidos solúveis do produto é expresso em gramas por 100 gramas e para a sua determinação foi utilizado o método refractométrico. O °Brix foi medido a 20°C por um refractómetro digital, modelo RFM340+ da Bellingham and Stanley. Note-se ainda que o °Brix varia consoante as frutas, as suas variedades e o estado de maturação.

4.3 pH

A determinação do pH fornece dados importantes na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício [5].

É um factor de fundamental importância na limitação dos diferentes microrganismos capazes de se desenvolver no alimento. Em alimentos ácidos ($\text{pH} < 4,0$), a microflora capaz de se desenvolver é restrita a alguns bolores e leveduras e, por vezes, bactérias

láticas e acéticas. Valores de pH acima de 4, tornam-se perigosos na medida que se associarmos um teor de água elevado (que é o caso) temos garantido excelentes condições para o desenvolvimento não só de bolores e leveduras como também de bactérias patogénicas [2].

Portanto, qualquer variação do pH citoplasmático implica uma diminuição da actividade enzimática e consequentemente o crescimento do microrganismo. Cada microrganismo tem portanto um pH óptimo e um pH máximo de crescimento [5].

A determinação do pH foi efectuada directamente nas amostras. Para as medições de pH utilizou-se um potenciómetro da marca HANNA Instruments, modelo pH 211 Microprocessor pH Meter, calibrado antes da sua utilização com os padrões 4 e 7.

4.4 Acidez

O ácido cítrico está presente na maioria das frutas, sobretudo em cítrinos como o limão e a laranja.

É usado como conservante natural (antioxidante), mas principalmente como regulador de acidez (E 330), dando um sabor ácido e refrescante na preparação de alimentos e de bebidas. A sua aplicação permite ajustar a acidez do produto e assim estabilizá-lo microbiologicamente [2].

A acidez determinou-se por titulação ácido base, com solução padrão de hidróxido de sódio 0,25M, após diluição de 25g da amostra em 75g de água. Utilizou-se como indicador a fenolftaleína e o ponto final da titulação foi detectado por potenciometria a pH 8,11. Os resultados são expressos em g/100 ml.

4.5. Vitamina C

Os smoothies C têm cerca de 200mg de vitamina C, graças à acerola. No entanto as frutas perdem a sua vitamina C durante o armazenamento e transformação. O rácio normal é cerca de 25% de perdas num processo industrial de conservação e armazenamento [3].

No caso dos sumos de fruta, as perdas de vitamina C são minimizadas pelo processo de desarejamento [11].

Estas medições de vitamina C foram efectuadas por um aparelho de testes rápidos com tiras de ácido ascórbico, da Merck, em que é usado o método de reflectometria.

5. Resultados

5.1 Comparação de parâmetros Físico-Químicos em amostras antes e depois de pasteurizadas

5.1.1 Smoothie Exótico de Laranja

Na tabela 2 estão representados os valores de quatro amostras do smoothie Exótico de Laranja. As siglas AP e DP significam antes de pasteurizado e depois de pasteurizado, respectivamente.

Tabela 2 – Comparação dos parâmetros físico-químicos antes e depois de pasteurizado em quatro amostras distintas do smoothie Exótico de Laranja.

Parâmetro	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Amostra 4	
	AP	DP	AP	DP	AP	DP	AP	DP
pH	3,49	3,52	3,42	3,5	3,58	3,58	3,51	3,52
Brix	13,32	13,26	12,73	12,64	12,41	12,41	11,83	11,8
Acidez (g/100ml)	0,6	0,59	0,58	0,56	0,56	0,55	0,53	0,53
Vitamina C (mg/ml)	225	201	238	235	237	217	220	223
Viscosidade (cp)	103	123	130	142	144	167	148	169

5.1.2 Smoothie Morango-Banana

Na tabela 3 estão representados os valores de quatro amostras do smoothie Morango-Banana. As siglas AP e DP significam antes de pasteurizado e depois de pasteurizado, respectivamente.

Tabela 3 - Comparação dos parâmetros físico-químicos antes e depois de pasteurizado em quatro amostras distintas do smoothie Morango-Banana.

Parâmetro	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Amostra 4	
	AP	DP	AP	DP	AP	DP	AP	DP
pH	3,46	3,35	3,53	3,48	3,24	3,27	3,05	3,11
Brix	12,14	11,97	13,1	12,9	12,29	12,32	11,97	11,94
Acidez (g/100ml)	0,55	0,54	0,59	0,58	0,54	0,55	0,52	0,53
Vitamina C (mg/ml)	228	215	235	226	232	235	235	242
Viscosidade (cp)	138	157	155	162	137	152	137	137

5.1.3 Smoothie Frutos Vermelhos

Na tabela 4 estão representados os valores de quatro amostras do smoothie Frutos vermelhos. As siglas AP e DP significam antes de pasteurizado e depois de pasteurizado, respectivamente.

Tabela 4 - Comparação dos parâmetros físico-químicos antes e depois de pasteurizado em quatro amostras distintas do smoothie frutos vermelhos.

Parâmetro	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Amostra 4	
	AP	DP	AP	DP	AP	DP	AP	DP
pH	3,31	3,41	3,46	3,56	3,13	3,48	3,01	2,98
Brix	11,95	11,94	12,47	12,33	12,29	12,3	12,1	12,1
Acidez (g/100ml)	0,54	0,54	0,55	0,53	0,53	0,55	0,54	0,54
Vitamina C (mg/ml)	210	216	225	207	234	229	221	227
Viscosidade (cp)	133	142	132	142	156	167	141	180

Por análise das tabelas anteriores (Tabela 2, 3 e 4) verifica-se que:

- normalmente o pH aumenta ligeiramente com a pasteurização, no entanto há casos em que desce. Estas oscilações não são significativas, podendo ser um erro associado ao eléctrodo.
- a tendência do °Brix é descer com a pasteurização, no entanto estas diminuições são mínimas e devem-se ao arraste do produto ser feito com água.
- no caso da acidez observa-se que algumas vezes desce, outras mantém-se igual ou pode até aumentar. A determinação da acidez é efectuada por pessoas diferentes e é totalmente manual, motivo pelo qual origina erros de medição que justifiquem estas pequenas alterações.
- normalmente a vitamina C desce com a pasteurização, pois o ácido ascórbico reage com o oxigénio e além disso a vitamina C degrada-se ao longo do tempo. É importante referir que o método de análise utilizado não é um método preciso. Sendo um aparelho de teste rápido com tiras de ácido ascórbico, existe uma maior possibilidade de erro associada.
- a viscosidade aumenta com a pasteurização.

Conclui-se então que para este tipo de sumos, o pH, °Brix e acidez não alteram significativamente com a pasteurização [15].

6. Dimensionamento de um pasteurizador

6.1 Factores que afectam a escolha de um pasteurizador

O tamanho e configuração do permutador de calor dependem de muitos factores. Os factores a serem considerados são [6]:

- Velocidade de fluxo ou caudal do produto
- Propriedades físicas dos líquidos
- Temperaturas
- Queda de pressão admissível
- Forma e espessura da parede de permuta
- Necessidades de limpeza
- Tempos de funcionamento necessários

6.2 Dimensionamento de um pasteurizador

6.2.1 Definição da Tarefa:

Nesta etapa vai-se dimensionar um pasteurizador, idêntico ao da figura 25. São definidos dois fluidos. O fluido quente, que fará o aquecimento. E o fluido frio, que se pretende aquecer.

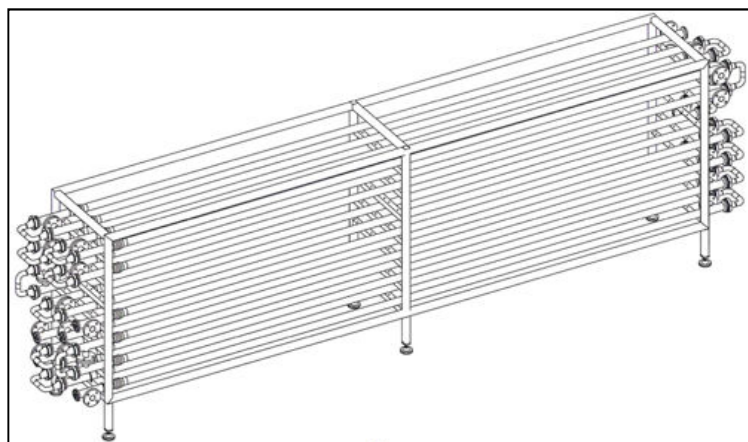


Figura 25 - Esquema de um pasteurizador, e.p. .

Para o dimensionamento é preciso considerar várias hipóteses [16]:

- O pasteurizador opera em estado estacionário.
- O coeficiente global de transferência de calor é constante ao longo do permutador de calor.
- O calor específico e densidade da mistura considera-se constante com a temperatura.
- A transferência de calor dá-se apenas por condução.
- Não há interconversão entre as várias formas de energia (eléctrica, química e mecânica).
- Transferência de calor apenas numa direção.
- As perdas de calor são desprezáveis.

Tabela 5 – Propriedades dos fluidos utilizados no dimensionamento do permutador, e.p. .

	Propriedades	Água	Smoothie
T_e	Temperatura entrada	373,15 K	293,15 K
T_s	Temperatura saída	353,15 K	366,15 K
$\dot{m}$	Caudal mássico	3200 Kg/h	2200Kg/h
K	Condutividade térmica	2,36 KJ/hmK	1,5 KJ/hmK
C_p	Calor específico	4,2 KJ/KgK	3,8 KJ/KgK
v	velocidade	0,711 m/s	0,601 m/s
μ	Viscosidade média	$4,09 \times 10^{-4}$ Kg/ms	0,15 Kg/ms
ρ	Densidade	960 Kg/m ³	1100 Kg /m ³

De acordo com a equação de energia temos.

$$\Delta H + \Delta Ec + \Delta Ep = Q + WE \quad (1)$$

Considerando que todas as formas de energia são nulas

$$\Delta Ec \cong \Delta Ep \cong WE = 0 \quad (2)$$

então

$$\Delta H = Q \quad (3)$$

Apenas vou considerar as condições de entrada e saída de fluidos para estabelecer o balanço térmico global do equipamento, escrevendo que a quantidade de calor Q perdida no fluido quente é igual ao que ganha o fluido frio e desprezam-se as perdas térmicas.

6.2.2 – Escolha do Tipo de Permutador

Para este trabalho foi escolhido um permutador de calor de caixas e tubos pois é tipo de permutador mais correntemente utilizado na indústria. Este tipo de permutador consiste num feixe de tubos encerrados numa caixa cilíndrica.

Um outro aspecto relevante para a escolha deste permutador neste caso específico tem a ver com a viscosidade do sumo e com a hipótese de haver grainhas no smoothie, pelo que não se poderia escolher um permutador em que houvesse o risco de entupir as tubagens.

O fluido quente será a água, o fluido frio será o smoothie que se pretende pasteurizar.

6.2.3 – Escolha da Localização dos Fluidos

- o fluido quente, ou seja, a água, circula na caixa.
- o fluido frio, ou seja, o smoothie, circula nos tubos.

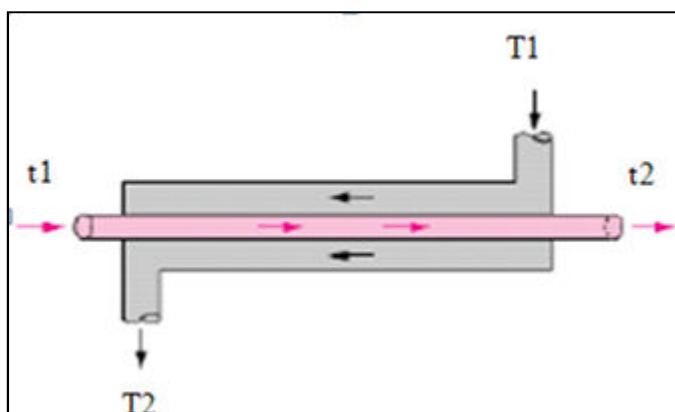


Figura 26 – Definição da circulação dos fluidos no permutador, e.p. .

Assim temos que:

T1 – temperatura de entrada da água, K

T2 – temperatura de saída da água, K

t1 – temperatura de entrada do smoothie, K

t2 – temperatura de saída do smoothie, K

6.2.4 – Escolha do Traçado do Permutador

O fluxo circula em contracorrente. O fluido quente passa uma vez na caixa e o fluido frio passa uma vez nos tubos. Pelo traçado escolhido obtém-se um factor F_t , que é um factor de correcção de temperatura. É correlacionado em função de duas razões de temperatura adimensionais: R e S

$$R = \frac{(T1-T2)}{(t2-t1)} \quad (4)$$

$$S = \frac{(t2-t1)}{(T1-t1)} \quad (5)$$

Substituindo os valores das temperaturas nas equações (4) e (5) obtém-se:

$$R = \frac{373,15 \text{ K} - 353,15 \text{ K}}{366,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K}} = 0,27$$

$$S = \frac{366,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K}}{373,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K}} = 0,91$$

Uma vez obtidos os valores de R e S , através da figura 27, encontra-se o valor de F_t correspondente.

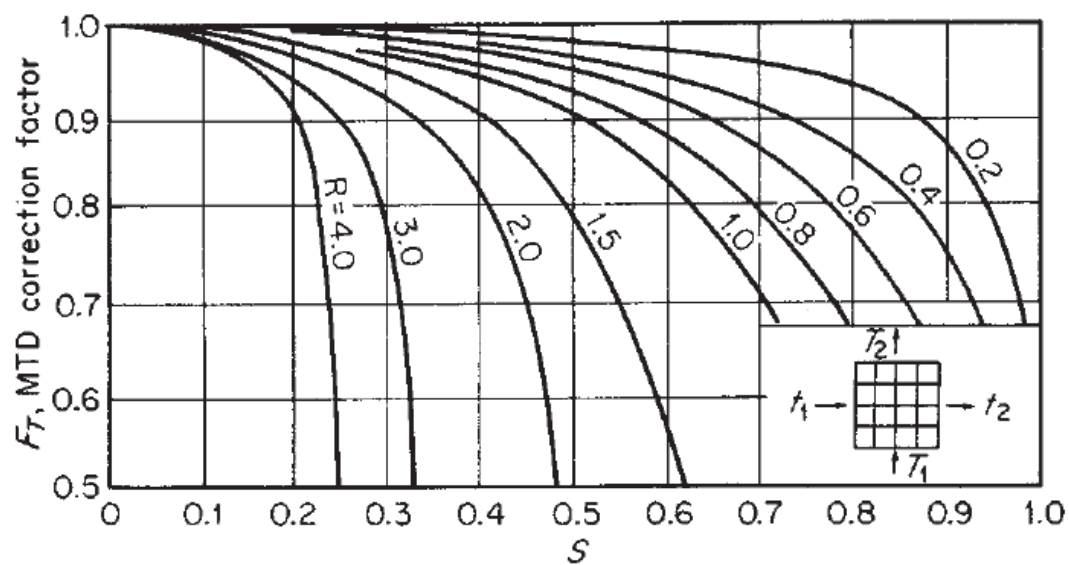


Figura 27 - Factor de correcção da temperatura: uma passagem na caixa e uma passagem nos tempos [17].

Neste caso $F_T = 0,82$

6.2.5-Definição das características dos materiais

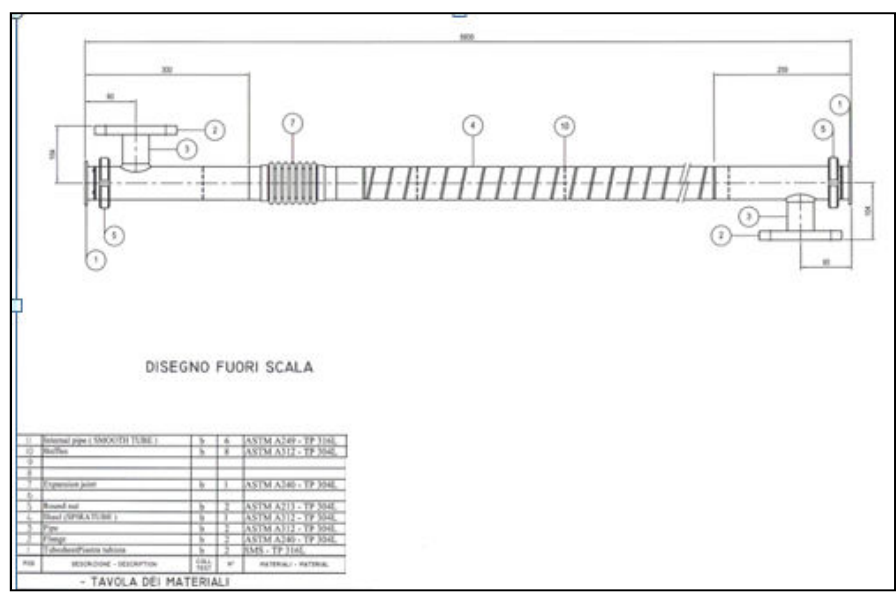


Figura 28 - Esquema de uma caixa do permutador e.p. .

*** TUBES DATA *** :				TUBE 1	TUBE 2
Outer diameter	(mm) :	16.00	60.30		
Thickness	(mm) :	1.00	2.00		
Conductivity (Kca/h.m.°C) :		12.40	12.40		
Number of tubes included :		6	1		
Number of tube Steps.... :		1	1		

Figura 29 - Dados da ficha técnica do pasteurizador e.p. ..

Para este permutador foram utilizados tubos de aço inoxidável ASTM (figura 28).

Diâmetro dos tubos

Neste permutador foram utilizados tubos com um diâmetro externo de 16mm e uma espessura de 1mm. Estes dados foram obtidos pela ficha técnica do pasteurizador (figura 29).

- diâmetro externo
 $d_{ext} = 16\text{mm} = 0,016\text{m}$
- Espessura: $1\text{mm} = 0,001\text{m}$
- Diâmetro interno

$$d_{int}: d_{ext} - 2 \times \text{espessura} = 0,016 - 2 \times 0,001 = 0,014\text{m}$$

- Comprimento dos tubos

$$c = 5,935\text{m}$$

- Disposição dos tubos

Assumindo uma disposição triangular, calcula-se o passo dos tubos. O passo dos tubos recomendado é 1,25 vezes o diâmetro exterior do tubo, e normalmente é este que se usa para efectuar os cálculos [18].

$$P_t = 1,25 \times d_{ext} \tag{6}$$

$$P_t = 1,25 \times 0,016 = 0,02\text{m}$$

6.2.6- Estimativa da área de transferência

Através da equação de Fourier podemos calcular a área necessária para a transferência de calor.

$$Q = U A F_t \Delta T_{lm} \quad (7)$$

Em que:

Q - Fluxo de transferência de Calor, KJ/h

U - Coeficiente global de transferência de calor, kJ/hm²K

A -Área de transferência de calor, m

F_t -Factor de correcção da temperatura, adimensional

ΔT_{lm} - Diferença de temperatura média logarítmica, K

Para isso temos de calcular o calor necessário para elevar a temperatura do smoothie durante a pasteurização.

$$Q = \dot{m} C_p (t_2 - t_1) \quad (8)$$

Em que:

Q - Fluxo de transferência de Calor, KJ/h

ṁ - Fluxo mássico, Kg/s

C_p - Calor específico, kJ/kgK¹

t₂-t₁ - Diferença de Temperatura do smoothie, K

Substituindo os valores na equação (8):

$$Q = 2200 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 3,8 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}} \times (366,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K}) \Leftrightarrow Q = 610280 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

Através da figura 30 escolhe-se o valor de transferência de calor.

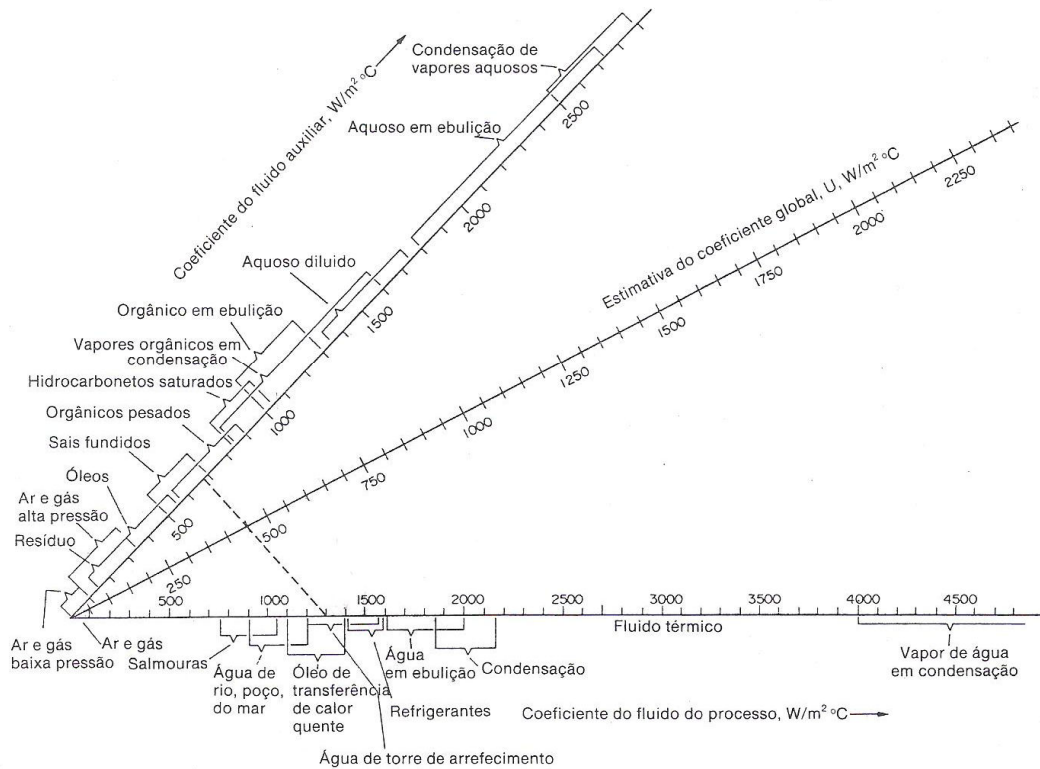


Figura 30 - Coeficientes globais de transferência de calor [18].

$$U = 800 \frac{W}{m^2 K} = 0,800 \frac{KJ}{sm^2 K} = 2880 \frac{KJ}{hm^2 K}$$

Para utilizar a equação é necessário fazer uma estimativa da diferença média de temperatura. Esta calcula-se a partir das diferenças de temperatura à entrada e saída do permutador (equação 9).

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \quad (9)$$

Substituindo os valores na equação 9:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(373,15 K - 366,15 K) - (353,15 K - 293,15 K)}{\ln \frac{(373,15 K - 366,15 K)}{(353,15 K - 293,15 K)}}$$

$$\Delta T_{lm} = 24,67 K$$

Substituindo estes valores na equação 7, calcula-se então a área.

$$610280 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} = 2880 \frac{\text{KJ}}{\text{hm}^2\text{K}} \times A \times 0,82 \times 24,67 \text{ K} \Leftrightarrow A = 212 \text{ m}^2$$

6.2.7 – Cálculo dos coeficientes individuais da transferência de calor

Número de tubos

O número de tubos é calculado pela seguinte expressão:

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{A \text{ total}}{A \text{ de um tubo}} = \frac{A}{2\pi \frac{d_{\text{ext}}}{2} \times L} \quad (10)$$

$$N^{\circ} \text{ tubos} = \frac{212 \text{ m}^2}{2\pi \frac{0,016 \text{ m}}{2} \times 5,935 \text{ m}} = 710 \text{ tubos}$$

Coeficiente do lado dos tubos

Para determinar o coeficiente de transferência de calor do lado dos tubos utiliza-se a seguinte expressão

$$\frac{h_0 d_{\text{int}}}{k} = j_h \text{RePr}^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (11)$$

Em que

h_0 – coeficiente de transferência de calor do lado dos tubos, $\text{KJ}/\text{hm}^2\text{K}$

d_{int} – diâmetro interno dos tubos, m

k – Condutividade, $\text{KJ} / \text{Kg}^{\circ}\text{C}$

j_h – factor de transferência de calor, adimensional

Re – número de Reynolds, adimensional

Pr – número de Prandtl, adimensional

$\frac{\mu}{\mu_w}$ - factor de correcção da viscosidade, adimensional

A partir da equação 12 calcula-se o número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v d_{int}}{\mu} \quad (12)$$

$$Re = \frac{1100 \frac{Kg}{m^3} \times 0,601 \frac{m}{s} \times 0,014 m}{0,150 Kg/ms} = 61,70$$

Como o nº de Reynolds é inferior a 2000, o fluxo é laminar.

Para determinar o j_h é necessário calcular a relação entre a largura e o diâmetro dos tubos,

$$\frac{L}{d_{int}} = \frac{5,935 m}{0,014 m} = 423,9$$

O valor de j_h encontra-se pelo cruzamento do número de Re com o valor de $\frac{L}{d_{int}}$ na figura 31.

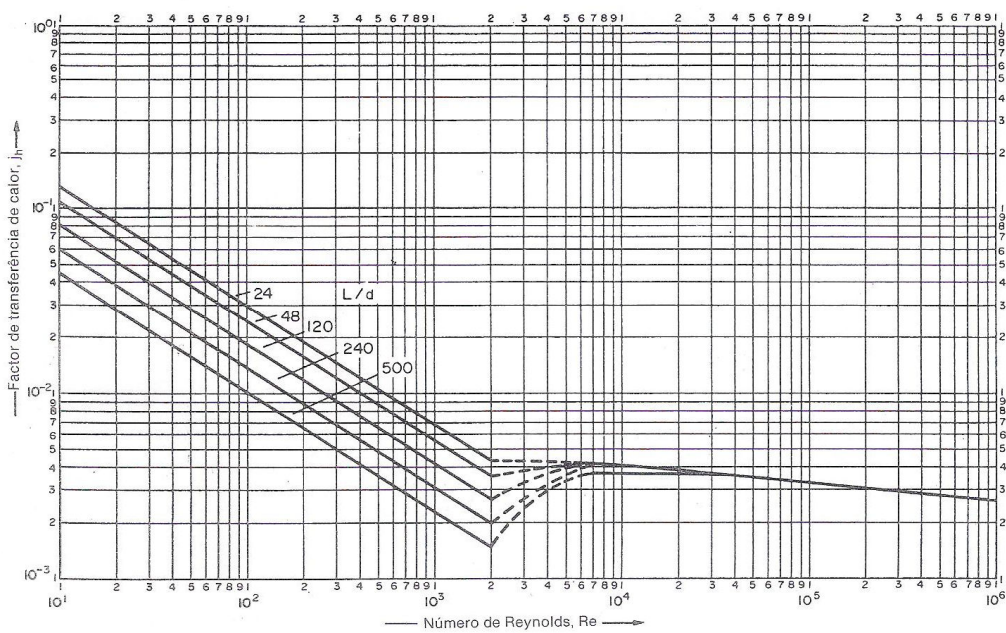


Figura 31 - Factor de transferência de calor do lado do tubo [18].

Neste caso, $j_h \cong 1,5 \times 10^{-2}$

O valor do Prandtl calcula-se a partir da equação 13.

$$Pr = \frac{Cp \times \mu}{K} \quad (13)$$

$$Pr = \frac{3,8 \text{ KJ} / \text{KgK} \times (0,15 \times 3600) \text{ Kg} / \text{mh}}{1,5 \text{ KJ} / \text{hmK}} = 1368$$

Neste dimensionamento vamos considerar que o factor de correcção de viscosidade é 1, pois este valor apenas é significativo para o caso de líquidos viscosos [19], então:

$$\left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \cong 1$$

Substituindo estes valores na equação 11, obtém-se:

$$\frac{h_0 \cdot 0,014 \text{ m}}{1,5 \text{ KJ} / \text{hmK}} = 1,5 \times 10^{-2} \times 61,70 \times 1368^{0,33} \times 1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow h_0 = 1075 \text{ KJ} / \text{hm}^2 \text{K}$$

Coeficiente do lado da caixa

Para determinar o coeficiente de transferência de calor do lado da caixa utiliza-se uma equação idêntica à utilizada no lado dos tubos.

$$\frac{h_1 d_{eq}}{k} = j_h Re Pr^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (14)$$

Em que

h_1 – coeficiente de transferência de calor do lado da caixa, KJ/hm²K

d_{eq} – diâmetro equivalente, m

k – Condutividade, KJ / KgK

j_h – factor de transferência de calor, adimensional

Re – número de Reynolds, adimensional

Pr – número de Prandtl, adimensional

$\frac{\mu}{\mu_w}$ - factor de correcção da viscosidade, adimensional

Nestes permutadores utilizam-se chicanas na caixa para dirigir o fluido contra os tubos, aumentando assim a sua velocidade e melhorando a velocidade de transferência. O tipo de chicana mais utilizado é o representado na figura 32 [18].

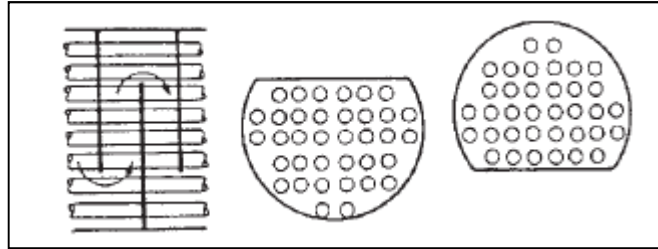


Figura 32 – Representação de chicanas em segmento [18].

Usa-se o termo corte da chicana para especificar as suas dimensões, e é expressa como percentagem do diâmetro do disco da chicana. Geralmente, um corte de 20 a 25% será a percentagem ideal para uma boa velocidade de transferência [18].

Normalmente o espaçamento das chicanas é 5% do diâmetro exterior da caixa [18].

$$\text{Espaçamento das chicanas} = 0,5 \times d_{ext} \quad (15)$$

$$\text{Espaçamento das chicanas} = 0,5 \times 0,06m = 0,012m$$

$$\text{Passo dos tubos} = 1,25 \times d_{ext \text{ tubo}} = 1,25 \times 0,016 = 0,02 \text{ m}$$

Área para o fluxo cruzado

$$A_s = \left(\frac{\text{Passo do tubo} - d_{ext \text{ tubo}}}{\text{Passo do tubo}} \right) \times d_{caixa} \times esp \text{ chicana} \quad (16)$$

$$A_s = \left(\frac{0,02m - 0,016m}{0,02m} \right) \times 0,06m \times 0,012m = 1,44 \times 10^{-4} m^2$$

Para o cálculo do Reynolds (equação 18) é necessário calcular a velocidade mássica, G_s

$$G_s = \frac{\text{caudal entrada}}{A_s} \quad (17)$$

$$G_s = \frac{3200 \text{ Kg/h}}{1,44 \times 10^{-4} m^2} = 2,2 \times 10^7 \text{ Kg/hm}^2 = 6173 \text{ Kg/sm}^2$$

Para o lado da caixa o número de Reynolds é calculado baseado na velocidade mássica e no diâmetro equivalente dos tubos.

$$Re = \frac{Gs_{eq}}{\mu} \quad (18)$$

Num passo triangular, o diâmetro equivalente é calculado através da equação 19 [18]:

$$d_{eq} = \frac{1,10}{d_0} \times (P_t^2 - 0,917 \times d_0^2) \quad (19)$$

substituindo,

$$d_{eq} = \frac{1,10}{0,016} \times (0,02^2 - 0,917 \times 0,016^2) = 0,011m$$

$$Re = \frac{6173 \frac{Kg}{sm^2} \times 0,011 m}{4,09 \times 10^{-4} Kg/sm} = 1,66 \times 10^5$$

Como o n° de Reynolds é superior a 2000, o fluxo é turbulento.

Para determinar o j_h é necessário definir o corte da chicana. Admitindo que a chicana tem um corte de 25%, valor de j_h encontra-se pelo cruzamento do número de Re com a linha de 25% de corte da chicana.

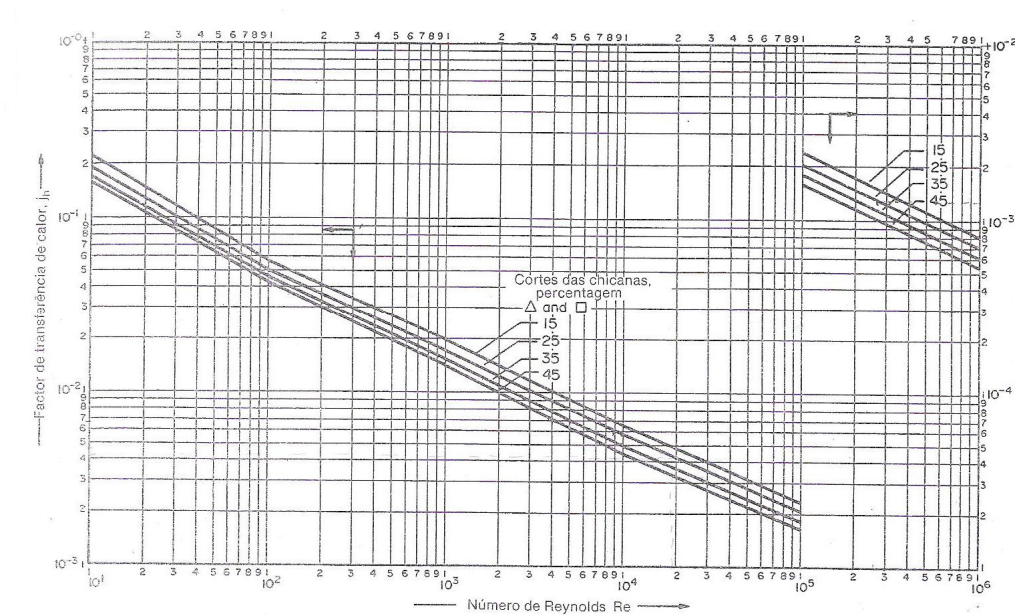


Figura 33 - Factores de transferência de calor do lado da caixa [18].

Neste caso, $j_h \cong 1,8 \times 10^{-2}$

Através da equação 13, temos $Pr = \frac{Cp \times \mu}{K}$

$$Pr = \frac{4,2 \text{ KJ/KgK} \times (4,09 \times 10^{-4} \times 3600) \text{ Kg/mh}}{3,36 \text{ KJ/hmK}} = 2,62$$

Considerando $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \cong 1$ e substituindo estes valores na equação 1, calcula-se h_1 .

$$\frac{h_1 \times 0,011 \text{ m}}{2,36 \text{ KJ/hmK}} = 1,8 \times 10^{-2} \times 1,66 \times 10^5 \times 2,62^{0,33} \times 1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow h_1 = 880926 \text{ KJ/hm}^2\text{K}$$

6.2.8 Cálculo do coeficiente global de transferência de calor

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{f_1} + \frac{d_{ext} \times \ln(d_{ext}/d_{int})}{2 \times kw} + \frac{d_{ext}}{d_{int}} \times \frac{1}{f_0} + \frac{d_{ext}}{d_{int}} \times \frac{1}{h_0} \quad (20)$$

Em que

U_0 – coeficiente global de transferência de calor baseado na área exterior do tubo, KJ/hm²K

h_0 - coeficiente do filme de fluido do lado dos tubos, KJ/hm²K

h_1 – coeficiente do filme de fluido do lado da caixa, KJ/hm²K

d_{int} – diâmetro interior do tubo, m

d_{ext} – diâmetro exterior do tubo, m

kw – condutividade térmica do material da parede do tubo, KJ/hmK

f_0 – coeficiente de sujidade interior, KJ/hmK

f_1 - coeficiente de sujidade exterior, KJ/hmK

Os coeficientes de sujidade foram obtidos através da figura 34.

Admitindo que o fluido do lado da caixa é água mole, então $f_0 = 5000 \text{ W/m}^2\text{°C} = 18000 \text{ KJ/hm}^2\text{K}$

Admitindo que o fluido do lado dos tubos é um liquido orgânico, então $f_1 = 5000 \text{ W/m}^2\text{°C} = 18000 \text{ KJ/hm}^2\text{K}$

Fluido	Coeficiente ($\text{W/m}^2\text{°C}$)
Água do rio	3000 – 12000
Água de mar	1000 – 3000
Água de arrefecimento (torres)	3000 – 6000
Água de cidade (macia)	3000 – 5000
Água de cidade (dura)	1000 – 2000
Condensado de vapor de água	1500 – 5000
Vapor de água (isento de óleo)	4000 – 10000
Vapor de água (vestígios de óleo)	2000 – 5000
Salmoura refrigerada	3000 – 5000
Ar e gases industriais	5000 – 10000
Gases de escape	2000 – 5000
Vapores orgânicos	5000
Líquidos orgânicos	5000
Hidrocarbonetos leves	5000
Hidrocarbonetos pesados	2000
Produtos orgânicos em ebulição	2500
Produtos orgânicos em condensação	5000
Fluidos de transferência de calor	5000
Soluções aquosas de sais	3000 – 5000

Figura 34 - Factores de sujidade (coeficientes) [18].

$$h_0 = 1075 \text{ KJ/hm}^2\text{K}$$

$$h_1 = 8,8 \times 10^5 \text{ KJ/hm}^2\text{K}$$

$$K_w = 12,40 \text{ Kcal/hmK} = 52 \text{ KJ/hmK}$$

$$d_{\text{int}} = 0,014 \text{ m}$$

$$d_{\text{ext}} = 0,016 \text{ m}$$

$$f_0 = 18000 \text{ KJ/hm}^2\text{K}$$

$$f_1 = 18000 \text{ KJ/hm}^2\text{K}$$

Substituindo os valores na equação 20:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_0} &= \frac{1}{8,8 \times 10^5 \frac{KJ}{hm^2K}} + \frac{1}{1,8 \times 10^4 \frac{KJ}{hm^2K}} + \frac{0,016m \times \ln\left(0,016m/0,014m\right)}{2 \times 52 \frac{KJ}{hmK}} + \\ &+ \frac{0,016m}{0,014m} \times \frac{1}{1,8 \times 10^4 KJ/hm^2K} + \frac{0,016m}{0,014m} \times \frac{1}{1075 KJ/hm^2K} \\ \Leftrightarrow U_0 &= 832 KJ/hm^2K \end{aligned}$$

2.6.9 Estimativa da queda de pressão no pasteurizador

Queda de pressão do lado dos tubos

$$\Delta P = N_p \left[8j_f \left(\frac{L}{d_i} \right) \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \frac{\rho v_t^2}{2} \quad (21)$$

Em que

ΔP = queda de pressão do lado dos tubos, Kg/ms²

N_p = número de passagens do lado dos tubos

v_t = velocidade do lado dos tubos, m/s

L = comprimento de um tubo, m

j_f = factor de atrito, adimensional

Considerando $\left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \cong 1$

Através da figura 35 e com o valor de Reynolds obtém-se o valor de j_f

$Re = 61,70$

$j_f = 1,3 \times 10^{-1}$

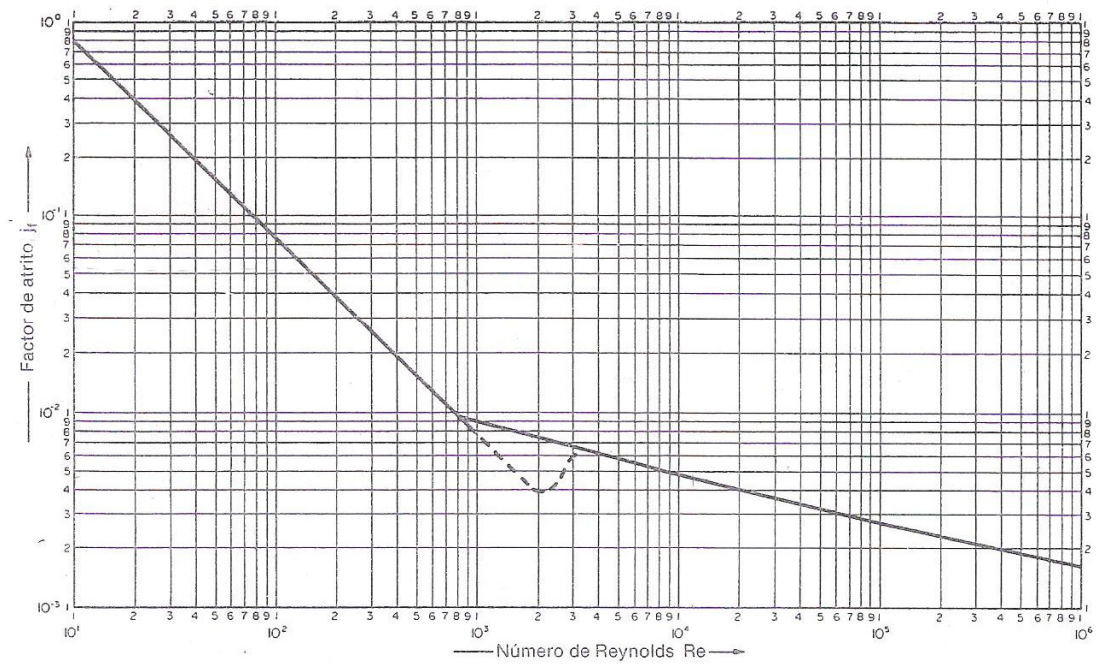


Figura 35 - Factor de atrito do lado do tubo [18].

Substituindo obtém-se:

$$\Delta P = 1 \left[8 \times 1,3 \times 10^{-1} \left(\frac{5,935}{0,014} \right) + 2,5 \right] \frac{1100 \frac{Kg}{m^3} \times (0,601 m/s)^2}{2}$$

$$\Delta P = 88083 \text{ Kg/ms}^2 = 88 \text{ KPa}$$

Queda de pressão do lado da caixa

$$\Delta P = \left[8j_f \left(\frac{d_{caixa}}{d_{eq}} \right) \left(\frac{L}{esp \text{ chicana}} \right) \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \frac{\rho \mu_t^2}{2} \quad (22)$$

Através da figura 36, com o valor de Reynolds e considerando um corte de 25% das chicanas obtém-se o valor de j_f

$$Re = 1,66 \times 10^5$$

$$j_f = 3,3 \times 10^{-2}$$

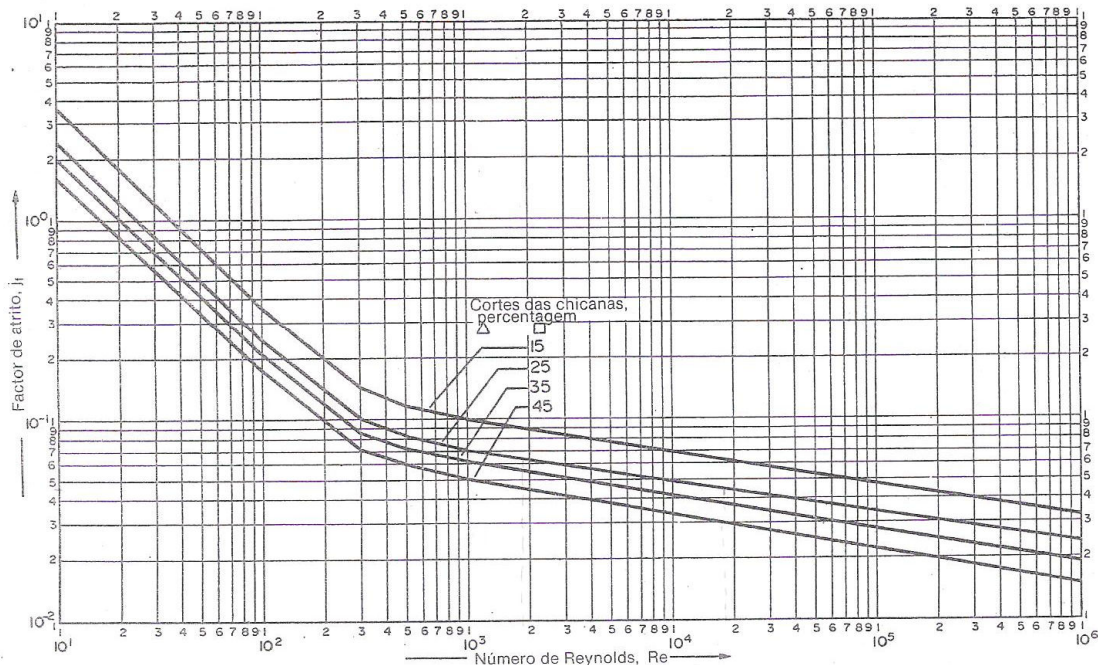


Figura 36 - Factor de atrito do lado da caixa [18].

$$\Delta P = (8 \times 3,3 \times 10^{-2} \times \left(\frac{0,06m}{0,011m}\right) \times \left(\frac{5,935m}{0,012m}\right) + 2,5) \times \frac{960 \frac{Kg}{m^3} \times (0,711 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\Delta P = 173422 \text{ Kg/ms}^2 = 173 \text{ KPa}$$

6.2.10 Cálculo da transferência para um produto com maior viscosidade

Nesta etapa vou calcular a transferência de calor no lado dos tubos considerando todos os valores iguais aos utilizados anteriormente e alterando apenas o valor da viscosidade.

Por exemplo: $\mu = 0,3 \text{ Kg/ms}$

Calcula-se o número de Reynolds através da equação 12.

$$Re = \frac{1100 \frac{Kg}{m^3} \times 0,601 \frac{m}{s} \times 0,014 m}{0,3 Kg/ms} = 31$$

Como o n° de Reynolds é inferior a 2000, o fluxo é laminar.

Para determinar o j_h é necessário calcular a relação entre a largura e o diâmetro dos tubos,

$$\frac{L}{d_{int}} = \frac{5,935 m}{0,014 m} = 423,9$$

O valor de j_h determina-se na figura 28, pelo cruzamento do número de Re com o valor de

$$\frac{L}{d_{int}}. \text{ Neste caso, } j_h \cong 2,1 \times 10^{-2}$$

Calcula-se o n° de Prandtl pela equação 13:

$$Pr = \frac{3,8 KJ / KgK \times (0,3 \times 3600) Kg/mh}{1,5 KJ/hmK} = 2736$$

$$\left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \cong 1$$

Substituindo estes valores na equação 11

$$\frac{h_0 0,014 m}{1,5 KJ/hmK} = 2,1 \times 10^{-2} \times 31 \times 2736^{0,33} \times 1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow h_0 = 950 KJ/hm^2K$$

O valor de h_0 obtido com uma viscosidade de 0,3Kg/ms é inferior ao valor de h_0 obtido com uma viscosidade de 0,15 Kg/ms.

A viscosidade é o único parâmetro físico-químico que interfere no dimensionamento de um permutador, pois este valor é inserido nos vários cálculos necessários para a obtenção dos resultados. Verifica-se que, com o aumento da viscosidade, a transferência de calor diminui. Logo, para fluidos com maior viscosidade é necessário aumentar o tamanho do permutador.

Confirma-se assim que as propriedades físicas do fluido necessárias para o projecto do permutador de calor são a massa específica, a viscosidade e a condutividade térmica [17].

7. Conclusão

Actualmente, os consumidores escolhem alimentos minimamente processados com características perto dos alimentos frescos usando o mínimo de processos e com quantidades reduzidas de conservantes. Os sumos não são excepção e há uma forte tendência de consumo de sumos de elevada qualidade. Estes sumos são obtidos directamente de fruta (não de concentrados), são distribuídos numa cadeia de frio e têm uma validade curta.

A degradação dos alimentos ocorre naturalmente por acção de microrganismos que usam os alimentos como fonte de nutrientes. Esta acção dos microrganismos conduz a uma degradação dos alimentos que os tornam impróprios para consumo. Assim, o processamento de alimentos deve ter em consideração o potencial para o desenvolvimento e crescimento deste tipo de microrganismos, devendo o processo ser estabelecido por de forma a garantir a segurança do produto após o processamento e durante um determinado período (prazo de validade).

A deterioração microbiana dos sumos pode originar sabores desagradáveis, odores, turvação e produção de gás. Apenas uma gama limitada de leveduras, bolores e bactérias ácidas são capazes de crescer em pH baixos. Para aumentar o tempo de vida e assegurar um produto de boa qualidade até ao final da sua validade, foi escolhido o processo de pasteurização de forma a conservar os smoothies C.

Para a pasteurização dos Smoothies C foi utilizado um pasteurizador de caixas e tubos, com passagem de fluxo em contracorrente. Este tipo de pasteurizador é muito utilizado e assegura um bom tratamento térmico ao produto.

As condições de pasteurização escolhidas são de 90°C durante 60 segundos. Deste modo é inibido o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos, no entanto as características organolépticas dos smoothies mantêm-se e portanto não há nenhuma alteração a nível de sabor.

Pela análise dos dados obtidos, confirma-se que o pH, °Brix e acidez não sofrem alterações significativas. Por sua vez a vitamina C degrada-se com o oxigénio e também ao longo do

tempo, logo a sua diminuição não é influência directa da pasteurização. O único parâmetro que é afectado pela pasteurização é a viscosidade. Dos parâmetros físico-químicos analisados, também a viscosidade é o único que tem influência na escolha das condições de pasteurização e no dimensionamento do pasteurizador, uma vez que esta se altera com a temperatura e para um produto mais viscoso é necessário um maior tempo de contacto com o fluido de aquecimento de forma a que a transferência de calor seja uniforme pelo produto.

Como referido anteriormente, também a viscosidade tem influência na escolha do pasteurizador, uma vez existem pasteurizadores que têm um melhor desempenho para produtos de baixa viscosidade (permutadores de placas) e outros para produtos de elevada viscosidade (permutadores de tubos concêntricos).

8. Referências Bibliográficas

- [1] Baptista, Paulo, Venâncio, Armando, *Os perigos para a Segurança Alimentar no Processamento de Alimentos*, Forvisão – Consultoria em Formação Integrada, Lda, 2003
- [2] Marques, D., *Desenvolvimento de um novo Produto “Barras de Fruta Fresca”* – Relatório de Estágio, – Escola Superior Agrária de Coimbra, 2008
- [3] www.c-optima.be/fr/200mg-vitamine-c-why.html, acesso em 04/04/12
- [4] www.ufrgs.br/Alimentus/feira/prfruta/sucolara/insp.htm; acesso em 04/04/12
- [5] Gonçalo, S., *Desenvolvimento e Produção de Sumos de fruta* – Relatório de Estágio, – Escola Superior Agrária de Coimbra, 2008
- [6] Márquez, M., *Diseño de un pasteurizador para helados* – Universidade de Cádiz, 2007
- [7] Casp, A., Abril, J., *Procesos de Conservación de alimentos*, Ediciones Mundi-Prensa, 1999
- [8] www.niroinc.com/gea_liquid_processing/pasteurization.asp, acesso em 28/03/12
- [9] www.ermi-web.com/PDF/ermifill_cup_eng.pdf, acesso em 04/04/12
- [10] <http://news.thomasnet.com/fullstory/Packaging-Machine-combines-sleevewrapper-and-tray-packer-464050>, acesso em 04/04/12
- [11] Fellows, P.J., *Food Processing technology*, CRC Press, 2000
- [12] http://sky.kiau.ac.ir/~mostafa.khosravy/myCourses/Heat_Transfer_I_files/10-Heat%20Exchangers.pdf, acesso em 26/10/12
- [13] www.cee.uma.pt/hlima/Doc%20Hidraulica/02apropriedadesfluidos_v2.pdf
- [14] www.estv.ipv.pt, acesso em 26/10/12
- [15] Bull, M.K., Zerdin, K., Howe, E., Goicoechea, D., Paramanandhan, P., Stockman, R., Sellahewa, J., Szabo, E., Johnson, R. L., Stewart, C. M., *The effect of high pressure*

processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel Orange Juice, Innovative Food Science & Emerging Technologies, **5**,135-149, 2004

[16] Mateus, Dina M. R., Sebenta, *Fenómenos de Transferência (Transferência de calor e massa)* – IPT, Tomar 2007

[17] Perry, R., *Perry's Chemical Engineers' Handbook* , McGraw-Hill 7th Edition 1997

[18] Coulson, J.M., Richardson, J.F., *Tecnologia Química – Volume VI*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1989