OPERAÇÃO DO PROCESSAMENTO TÉRMICO EM ALIMENTOS

A história da eliminação dos microrganismos nos alimentos preparados iniciou-se com Nicholas Appert, um confeiteiro francês que colocou alimentos em garrafas de vidro, tampou-as com rolha e aqueceu-as em água fervente. A maioria dos alimentos assim tratados não se deteriorou e, ele anunciou esta descoberta em 1810. Naquela época a microbiologia era desconhecida e Appert foi incapaz de explicar por que seu método era eficaz. Ele acreditava que com a combinação do calor e a remição do ar prevenia a tendência à decomposição dos alimentos. Cinquenta anos depois, Louis Pasteur demonstrou que certos microrganismos são responsáveis pela fermentação e decomposição dos alimentos.

OBJETIVOS DO PROCESSAMENTO TÉRMICO NOS ALIMENTOS

Tratamento térmico dos alimentos é necessário a fim de:

- Reduzir a flora microbiológica presentes nos alimentos,
- Evite as alterações produzidas na não-alimentares por microorganismos patogênicos.

Os quatro principais objetivos da aplicação dos tratamentos térmicos são:

- Destruir os microorganismos que podem afetar a saúde do consumidor,
- Destruir os microorganismos que possam alterar as propriedades dos alimentos,
- Desativar qualquer ação enzimática,
- Otimizar a retenção dos fatores de qualidade a um custo mínimo.

O tratamento térmico depende:

- A resistência térmica dos microrganismos e enzimas presentes no alimento,
- O conteúdo inicial microbiano presentes no alimento antes do tratamento,
- O pH dos alimentos,
- O estado físico do alimento (líquido, pastoso, pós, etc.).

Sob a designação de tratamento térmico que pode englobar todos os processos têm como objetivo a destruição dos microorganismos através da aplicação de calor. Estamos, na realidade, referindo-se a *pasteurização* e *esterilização*, utilizados para a destruição microbiana presente nos alimentos.

Pasteurização: implica a destruição, por meio da aplicação de calor, de todos os organismos em um estado vegetativo, que iria produzir doenças, ou a destruição / redução do número daqueles organismos que iria produzir alterações em determinados alimentos, com um pH inferior a 4,6. Nestes alimentos apenas os microorganismos que se desenvolvem são os que alteram os alimentos, mas que não são patogênicos ao homem.

Esterilização: significa a destruição de todos os microorganismos e seus esporos viáveis, e que podem causar doenças ao homem. Para isto, utilizam-se técnicas apropriadas por meio da aplicação de temperaturas superiores a 100°C.

TRANFERÊNCIA DE CALOR NO PROCESSO

Existindo regiões a diferentes temperaturas, ocorrerá transferência de energia térmica no sentido das zonas onde a temperatura é mais baixa. Essa transferência pode ocorrer por três mecanismos: condução, convecção ou radiação.

Condução

A condução é o modo principal de transferir calor nos sólidos entre zonas a temperaturas diferentes. As partículas mais energéticas (situadas na zona de temperatura mais elevada) transmitem energia vibracional por contacto com as partículas menos energéticas que recebem essa energia. Nos fluidos (especialmente nos gases, onde existem menores forças de coesão) ocorre ainda colisões entre as partículas.

Convecção

Quando um fluido se encontra em movimento, as porções elementares de fluido que colidem entre si, transmitem a sua energia. Assim, a convecção é a transferência de calor na presença de um fluido em movimento. O movimento pode ser provocado por agentes externos como, por exemplo, pela atuação de um sistema de agitação, ou por diferenças de densidade resultantes do próprio aquecimento do fluido. No primeiro caso, diz-se que a transferência de calor se processa por convecção forçada, enquanto no segundo, se efetua por convecção natural ou livre. Assim, mesmo que um fluido se encontre em repouso, a diferença de temperaturas gera diferenças de densidade no seio do fluido que poderão ser suficientes para induzir um movimento ascendente do fluido mais quente (sob a ação da gravidade) e descendente se o fluido resfriar, por contato com uma superfície mais fria. A figura-1 mostra o movimento da transferência de calor nos dois processos.

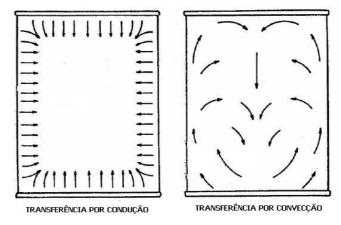


Figura-1: Transferência de calor em alimentos embalados

Radiação Térmica

A radiação térmica está restrita aos comprimentos de onda entre 0,1 e 100 µm do espectro electromagnético. A propagação de ondas eletromagnéticas ocorre através de corpos ou fluidos não opacos, ou no vácuo, não precisando, portanto, da existência de matéria. Como se pode concluir, o transporte de energia associado a este mecanismo é qualitativamente diferente dos mecanismos referidos acima (condução e convecção). Contudo, uma vez que todas as superfícies emitem radiação térmica, e esta será tanto maior quanto mais elevada for a temperatura, se um corpo emitir mais energia do que aquela que recebe proveniente das superfícies envolventes, a temperatura desse corpo diminuirá. Este tipo de processo de transferência é bastante utilizado na secagem de farinhas e amidos em secadores de tambor cilíndrico.

A figura-2 mostra o tipo de tratamento térmico nos diversos tipos de alimentos embalados.



Figura-2: Tipo de Tratamento Térmico nos Diversos Alimentos Embalados

Alimento 1 e 2: aquecimento por convecção
Alimento 3: aquecimento por convecção e também por condução
Alimentos 4 e 5: aquecimento por convecção

CINÉTICA DA EVOLUÇÃO MICROBIANA

Quando os microrganismos se reproduzem por gemulação ou fusão binária o crescimento conduz ao aumento do número de células. O crescimento de uma população microbiana é estudado por análise da respectiva curva de crescimento. Quando os microrganismos são cultivados num meio líquido em sistema fechado as concentrações de nutrientes sofrem um declínio enquanto aumentam as concentrações dos produtos de degradação. O crescimento dos microorganismos que se reproduzem por fissão binária pode ser representado graficamente como o logaritmo decimal do número de células versus o tempo de incubação. A curva resultante caracteriza-se por quatro fases distintas: fase de arranque, fase exponencial de crescimento, fase estacionária e fase de morte (figura-2).

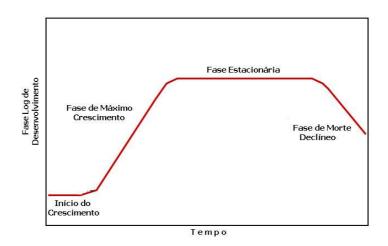


Figura-2: Gráfico das fases do crescimento dos microorganismos

Fatores que afetam a termorresistência dos microrganismos

Acredita-se que a destruição dos microrganismos por ação térmica se deve a coagulação de suas proteínas e especialmente a inativação das enzimas necessária para o seu metabolismo. O tratamento térmico utilizado vai depender do tipo e classe de microrganismo que se deseja destruir e dos efeitos do tratamento térmico sobre o alimento processado.

Condições que afetam o desenvolvimento de microrganismos

Há certas condições que os microrganismos necessitam para o seu desenvolvimento e, assim deteriorar um alimento.

1 - Nutrientes

A presença de um suprimento adequado de nutrientes é a mais importante condição que afeta o desenvolvimento dos microrganismos;

2 - Umidade

O teor de umidade e sua disponibilidade no alimento, são fatores importante na preservação do crescimento dos microrganismos pois, o mesmo penetra no interior dos alimentos através da parede celular;

3 - Oxigênio

Alguns microrganismos necessitam do oxigênio livre para a sua sobrevivência e são denominados aeróbios. Porém a maioria dos microrganismos não é nem aeróbios nem anaeróbios (sem oxigênio), não podendo tolerar dentro de certos níveis, os dois ambientes;

4 - Temperatura

Para cada grupo de microrganismo, há uma faixa de temperatura ótima ou mais favorável para o seu desenvolvimento, conforme é mostrado a seguir:

Grupo Psicrotrófilos: se desenvolvem melhor entre 14 a 20°C, mas podem crescer lentamente no interior ou sobre os alimentos mantidos em temperatura entre 4°C.

Grupo Mesófilos: este grupo se desenvolvem melhor em temperaturas na faixa de 30 a 37° C.

Grupo Termófilos: os microorganismos deste grupo, se desenvolvem a altas temperaturas que são na faixa de 45 a 65° C.

O quadro-1 a seguir, mostra os valores de resistência térmica de alguns microorganismos mais comum encontrados em alimentos.

Quadro-1: Resistência Térmica do Alguns Microorganismos

MICRORGANISMOS	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MINUTOS)
Estreptococcus fecais	65,0	5,0 - 30,0
Salmonella spp	65,5	0,02 - 0,25
Staphylococcus aureus	65,5	0,02 - 2,0
Escherichia coli	65,0	0,10
Bolores e Leveduras	65,5	0,50 - 3,0
Clostridium botulinum	100,0	100,0 - 330,0

TERMORRESISTÊNCIA DOS MICROORGANISMOS

A resistência térmica dos microrganismos é chamada de tempo de redução decimal ou simplesmente conhecida por "D". O valor D pode ser definido como o tempo em minutos a uma determinada temperatura, necessária para destruir 90% dos organismos de uma população ou, para reduzir uma população a um décimo do número original de microrganismos presente ao alimento. A utilização de tratamento térmico, geralmente sob forma de calor úmido é o mais utilizado no controle da estabilidade microbiológica ou mesmo esterilidade comercial dos alimentos processados. Dependendo fundamentalmente do tipo de microrganismo presente e que se deseja eliminar, há dois tipos diferenciados de tratamento térmico que são aplicados aos alimentos processados:

1 - Tratamento Térmico Comercial

Geralmente empregado para alimentos de baixa acidez pH > 4,6 e que são armazenados a temperatura ambiente. As temperaturas nestes processos variam de 110°C a 120°C.

2 - Tratamento Térmico de Pasteurização

A terminologia pasteurização se aplica para indicar tratamento térmico menos intenso, sempre a temperatura inferior a 100° C e, portanto a pressão atmosférica normal. Esses processos são destinados aos alimentos que não oferecem condições para a proliferação das bactérias (com alimentos ácidos ou muito ácidos), não oferecendo condições para a multiplicação de microorganismos mais resistentes, que podem sobreviver no processo de pasteurização.

Leveduras e seus esporos

Normalmente as Leveduras são destruídas a uma temperatura entre 5 a 10° C. As formas vegetativas das Leveduras são eliminadas no geral a 50 a 60° C, em um tempo de 10-15 minutos e, seus esporos serão destruídos com uma temperatura mínima de 60°C em um tempo de 10-15 minutos.

Mofos e seus esporos

A maioria dos mofos e seus esporos, são destruídos a uma temperatura mínima de 65° C com um tempo que varia entre 5 e 10 minutos. Há alguns mofos como o caso de algumas espécies de *Penicillium*, que é necessário para a sua destruição uma temperatura acima de 83° C com um tempo de até 1000 minutos. Os esporos dos mofos e fungos, é bastante

resistentes ao calor como casos registrados de alguns esporos resistentes a temperatura de até 120° C, durante um tempo de 30 minutos.

Bactérias e seus esporos

A termorresistênia bacteriana varia muito desde alguns patogênicos facilmente destruídos, a termófilos que são necessários um período de tempo longo a uma temperatura entre 80 a 92° C para a sua eliminação. Os seus esporos geralmente são mais resistentes ao calor, sendo necessário uma temperatura mínima de 100° C e, um tempo de destruição que varia de 1 minuto a 20 horas para a sua destruição. O quadro-2 a seguir, mostra o tempo de destruição térmica para alguns esporos de bactéria.

TEMPO EM MINU

Quadro-2: Tempo de destruição térmica de esporos

ESPOROS	TEMPO EM MINUTO A 100°C DE DESTRUIÇÃO
Bacillus anthacis	1,7
Clostridium botullinum	15 - 20
Bactéria fermentativa simples	1030

Enzimas

A maioria das enzimas nos alimentos e dos microrganismos, são destruídos a 80° C e, algumas podem resistir temperaturas superior a 80° C.

CÁLCULO DO TEMPO DA DESTRUIÇÃO TÉRMICA

As temperaturas que provoca a morte dos microrganismos são denominadas temperaturas letais. Quando os esporos de uma bactéria são submetidos à temperaturas letais e constantes, observa-se uma redução no número de sobreviventes que é em geral, proporcional ao número total dos esporos vivos. Matematicamente é expressa pela equação:

$$-\frac{dN}{dt} = kN \quad (1)$$

onde:

N = número de esporos vivos no final do processo.

t = tempo de aquecimento empregado.

k = constante de destruição térmica

A avaliação da resistência térmica de células vegetativas e de esporos, é fundamental na determinação de dois parâmetros, que são os valores "D" e "z". O valor D é chamado de

tempo de redução térmica, corresponde ao tempo em minutos, a uma temperatura capaz de causar uma redução em 90% dos microrganismos presente em um meio alimentício. No gráfico a seguir, é mostrada a curva de sobrevivência térmica.

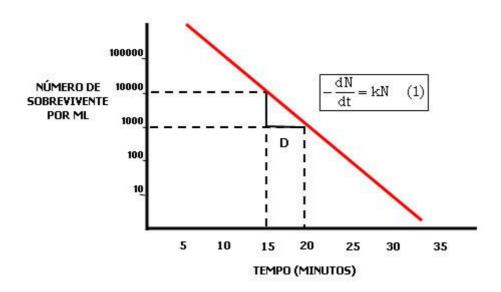


Figura-3: Curva de sobrevivência térmica de microrganismos

Pela equação (1) teremos:

$$-\int\limits_{N_{O}}^{N_{1}}\frac{\mathrm{d}N}{N}=k\int\limits_{t_{O}}^{t}\mathrm{d}t\ \rightarrow -\left(\ln N_{1}-\ln N_{O}\right)=kt-kt_{O}$$

$$\ln \frac{N_0}{N_1} = kt \rightarrow t = \frac{2,303}{k} \log \frac{N_0}{N_1}$$

No = número inicial de esporos

N₁ = número de esporos sobreviventes após tempo t do processo térmico

Na prática podemos utilizar para o cálculo da destruição térmica, fazendo $\mathbf{t} = \mathbf{D}$ teremos a equação:

$$Tg = \frac{(1 \circ g N_O - 1 \circ g N_1)}{t_1 - t_O} = \frac{1}{D}$$
 (2)

fazendo $t_1 - t_0 = t$ e recalculan do temos :

$$t = D \left(l \circ g \frac{N_O}{N_1} \right) \qquad (3)$$

O valor "z" corresponde ao intervalo da temperatura que ocasiona uma variação de 10 vezes no valor **D**, sendo numericamente igual ao número de graus necessário para a curva de resistência térmica atravessar um ciclo logaritimo. É a resistência relativa do microrganismo. O gráfico do tempo de destruição térmica (TDT) da figura-4.

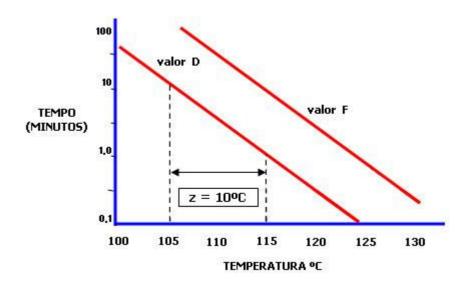


Figura-4: Curva do Tempo de Destruição Térmica

 D_1 e D_2 = valores de um ciclo log.

 F_1 e F_2 = valores de um ciclo log.

 T_1 e T_2 = temperaturas correspondente.

Utilizando a equação (2) temos:

$$\begin{split} Tg\alpha &= \frac{\left(\log D_2 - \log D_1\right)}{z} = \frac{1}{z}\\ \log D_2 - \log D_1 &= \frac{1}{z} \left(T_1 - T_2\right) \text{ ou} \end{split}$$

Pela curvada equação térmica teremos :

$$\log F_2 - \log F_1 = \frac{1}{2} (T_1 - T_2)$$

$$\log \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{T_1 - T_2}{z}\right) \rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \log^{-1}\left(\frac{T_1 - T_2}{z}\right) \rightarrow$$

$$F_2 = F_1 \log^{-1} \left(\frac{T_1 - T_2}{z} \right)$$
 (4)

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE MICRORGANISMO

Após o processo térmico empregado no alimento processado, considera-se satisfatório quando a probabilidade de conter microrganismos sobreviventes capazes de deterioração no alimento e consequentemente causar mau à saúde do consumidor, é de 1 embalagem para cada 1000 embalagem. Nos produtos alimentícios em que o pH é superior a 4,5, o microrganismos mais importante a considerar no tratamento térmico é o *Clostridium botullinum*. Nos produtos com pH inferior a 4,5, o tratamento térmico é menos rigoroso devido a baixa resistência ao calor dos microrganismos. As bactérias mesófilas são aquelas, que se desenvolvem melhor a 30°C e, as bactérias termófilas desenvolvem melhor a uma temperatura superior a 37°C. Para avaliar a capacidade térmica do processo na eficiência da destruição dos microrganismos, utiliza-se a temperatura padrão equivalente a 250° F (121° C), num tempo de 1 minuto e z é assumido normalmente a 18° F. A quantidade total de tratamento térmico num processo é dada pelo valor F. O valor F é calculado pela equação a seguir:

$$F = D_{250} \log \frac{N_0}{N_1}$$
 (5)

 $N_0 = n$ úmero inicial de microrganismo vivo.

N₁ = número final de microrganismo sobrevivente.

Pelo gráfico da figura-2, a equação denominada Curva de Destruição Térmica, teremos:

$$\log \frac{t}{F} = \frac{(250 - T)}{z} \rightarrow t = 10^{\left(\frac{250 - T}{z}\right)}$$

$$\int_{t_0}^{t_1} \frac{dt}{t} = 1 \text{ onde } F = \int_{t_0}^{t_1} 10^{\left(\frac{250 - T}{z}\right)}$$
 (6)

T = temperatura do produto a qualquer momento do processo térmico.

t = tempo em minutos do processo.

PENETRAÇÃO DE CALOR NA EMBALAGEM DURANTE O PROCESSO

As análises de penetração de calor na embalagem são conhecidas como curvas de penetração de calor. A intensidade de penetração de calor em um alimento embalado, deve ser conhecida as suas características físicas e químicas pois, será influenciada pela velocidade com que o calor atinge o centro da embalagem. Dependendo da natureza do alimento, do tamanho e formato das embalagens, um tratamento térmico específico deverá ser empregado para que o calor atinja o centro da embalagem. Para alguns produtos, a velocidade de penetração de calor muda com o passar do tempo após o enchimento do alimento na embalagem. É o caso das massas alimentícias e outros alimentos desidratados que absorvem água do molho no qual estão imerso, reduzindo assim as taxas de transferência de calor no processo térmico. Para tais produtos, é importante considerar o tempo e a temperatura de enchimento para efeito de avaliação das características de penetração de calor. Como regra geral, produtos aquecidos por

CONDUÇÃO, apresentam o ponto "frio" no centro da embalagem e, para produtos aquecidos por CONVECÇÃO, o ponto "frio" localiza-se abaixo do centro da embalagem. Em todo processo térmico para alimentos, é necessário conhecer as características de resistência de destruição térmica das bactérias e seus esporos que se deseja eliminar pois, cada bactéria terá uma condição de temperatura térmica para a sua destruição. Matematicamente, o cálculo para avaliação do processo de tratamento térmico pode ser obtido pela equação segundo Ball:

$$T_{\mathbf{M}} = \mathbf{fh} \big(\log \mathbf{j} \mathbf{I} - \log \mathbf{g} \big) \quad (7)$$

 T_M = tempo de processo em minutos a determinada temperatura.

fh = inclinação da curva de penetração de calor.

jl = fator de correção obtido aumentando-se a curva de aquecimento até interceptar o tempo em que começa o processo.

g = tempo em que o processo de aquecimento termina.

A destruição térmica dos microrganismos principalmente as bactérias causada pela diferença de temperatura (T_0 - T_1) no inicio doo aquecimento, não é significativa porque as duas temperaturas são relativamente baixas. Entretanto, a fase inicial do resfriamento das embalagens é bastante importante para o cálculo do tempo de aquecimento. Deve-se conhecer, então, a curva de resfriamento do produto alimentício em questão.

No quadro-3 a seguir, constam os dados de valores **D** e **z** de esporos de células vegetativas de bactérias, bolores e leveduras. STUMBO definiu as condições de tratamento térmico comercial, a que devem ser submetidos os alimentos de baixa acidez, de forma a eliminar os riscos da presença de esporos viáveis de bactérias que infectam e deterioram os alimentos industrializados.

Quadro-3: Tratamento Térmico e Tempo de Vários Microorganismos

	Temperatura	Valor D	Valor z
Microrganismos			
	(°C)	(minuto)	(°C)
Esporos			
Bacillus stearothermopholus	121,1	4,0 - 5,0	7,7 - 12,2
Clostridium botulinum	121,1	0,1 - 0,2	7,7 - 10,0
Clostridium perfringens	100,0	0,31 - 17,6	6,0 - 17,2
Bacillus cereus	121,0	0,003 - 2,37	7,9 - 9,9
Clostridium pasteurianum	100,0	0,1 - 0,5	6,6 - 8,8
Células Vegetativas de Bactéria			
Brucella spp	65,5	0,5 - 1,0	4,4 - 5,5
Salmonella spp	65,5	0,02 - 0,25	4,4 - 5,5
Staphylococcus aureus	65,5	0,2 - 2,0	4,4 - 6,5
Staphylococcus pyogenes	65,5	0,2 - 2,0	4,4 - 6,5
Lactobacillus spp	65,5	0,5 - 1,0	4,4 - 5,5
Bolores e Leveduras			
Células Vegetativas e Micélio	65,5	0,5 - 3,0	4,4 - 6,6
Zygosaccharoyces bailii	60,0	7,0 - 14,2	4,0 - 5,0
Saccharomyces cerevisiase	60,0	8,2 - 22,2	4,5 - 5,0

O cálculo da letalidade integral do processo térmico será obtido, utilizando a equação a seguir:

$$F = D \left(\log V - \log 10^{-12} \right)$$
 (8)

onde:

F = letalidade integral, expressa e minutos a 121,1°C,

D = 0.20 minutos,

V = volume da embalagem contendo o alimento, expresso em cm³. Assim no caso de uma embalagem com volume de 360 cm³ e, assumindo uma contaminação de 1 esporo/cm³, haverá neste caso 360 esporos/lata.

Portanto teremos:

$$F = 0.20 (\log 360 - \log 10^{-12}) = 0.20 (2.556 + 12) = 2.91$$
 (9)

Nestas condições, para assegurar a destruição de esporos de *C.botulinum*, o tratamento térmico neste caso aplicado às embalagens, deverá ser equivalente a 2,91 minutos de aquecimento, a uma temperatura de 121,1°C.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA TROCA TÉRMICA

São conhecidos por trocadores de calor existindo uma variedade destes equipamentos nas diversas operações de processamento térmico de alimentos. A característica comum na maioria dos trocadores de calor é a transferência de calor de uma fase quente para uma fase fria e, são utilizados tanto para os alimentos processados antes e depois de embalados. Os principais equipamentos utilizados na indústria alimentícia são os seguintes:

• Trocador Tubular

É o equipamento mais simples utilizado para a troca térmica. É constituído por dois ou vários tubos concêntrico no interior de uma carcaça externa. O produto caminha no interior dos tubos, e o meio de aquecimento circula por fora dos tubos (figura-5). Este tipo de trocador de calor é, bastante utilizados para produtos de baixa viscosidade (sucos, molhos, polpas de frutas, etc.)

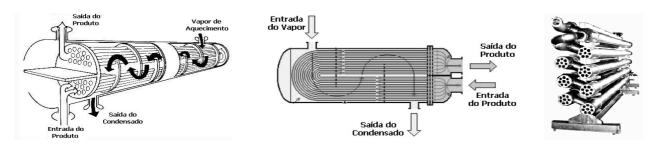


Figura-5: Modelos de Trocador de Calor Tubular

• Trocador de Superfície Raspada

Este tipo de equipamento é normalmente utilizado para processamento de produtos de alta viscosidade. Constituem de um eixo móvel com lâminas de raspagem localizadas concentricamente dentro de um cilindro de transferência de calor encamisado e isoladao (figura-6). O meio de aquecimento neste tipo de equipamento normalmente é o vapor de água, que circula em contra corrente com o produto alimentício.

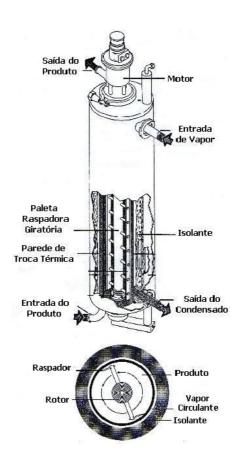


Figura-6: Trocador de calor de superfície raspada

Autoclaves

As autoclaves são constituídas por um corpo de metal resistente à pressão e, sendo o produto aquecido geralmente pelo uso de vapor de água. As autoclaves podem ser fixas ou rotativas, contínua ou descontínua e verticais ou horizontais (figura-7). O método de troca térmica baseia-se na introdução do produto alimentício já acondicionado nas embalagens, no interior da autoclave. A mesma é fechada e inicia-se então o ciclo de aquecimento e esterilização do produto.

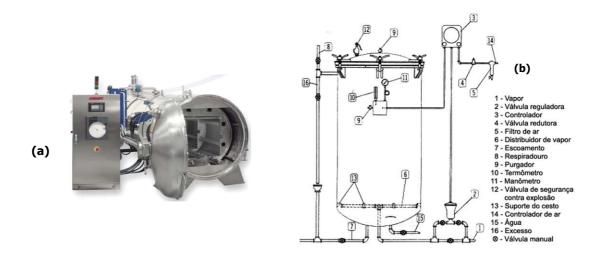
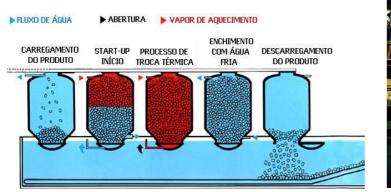


Figura-7: Autoclave (a)-rotativa horizontal descontínua; (b)-fixa vertical descontínua

A finalidade principal das autoclaves é evitar o desenvolvimento de microorganismos nos alimentos processados e produzindo como conseqüência, o cozimento do produto e com isso a sua preservação por um período maior de estocagem.

Os produtos são colocados na autoclave já embalados e são aquecidos e resfriados dentro da água com pressão de ar superposta. O carregamento dos produtos é feito através de esteiras transportadoras. As fazes de um ciclo completo são: injetar a água, introduzir os produtos embalados, abertura do vapor de aquecimento, tempo de troca térmica, resfriamento com água e ar para compensar a pressão interna e, finalmente a retirada das embalagens. A figura-8 ilustra o processo do ciclo de uma autoclave.





LINHA DE ESTERILIZAÇÃO DE EMBALAGEM DE ALIMENTOS ENLATADOS EM AUTOCLAVE

Figura-8: Processo do ciclo de operação de uma autoclave fixa descontínua

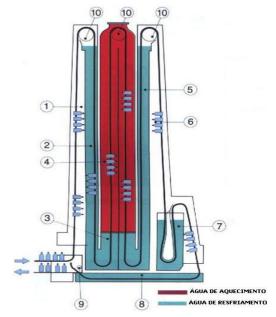
Autoclave Hidrostática

Neste tipo de autoclave existem duas colunas de água; uma de alimentação e outra de descarregamento, no meio destas duas colunas interpõe uma câmara de vapor formando, portanto a autoclave.

Também faz-se a troca térmica nos alimentos já acondicionados nas embalagens (latas, vidros). A autoclave hidrostática opera a uma temperatura de vapor constante, através da quais as embalagens de produto são transportadas no tempo de processamento pré-determinado, por um sistema de cadeias. Após o processo térmico, as embalagens são transportadas através de um sistema de resfriamento e descarregadas em seguida (figura-9).

A coluna de alimentação da autoclave hidrostática consiste da seção de tanque, na qual os carregadores e as embalagens com produto, passam por água antes de entrar na cúpula de vapor. Essa coluna de água fornece a pressão hidrostática para equilibrar a pressão de vapor na câmara de calor.

Este tipo de equipamento é projetado para operar a temperaturas que variam de 121°C a 127°C.



- 1 1º Estágio pré-aquecimento
- 2 2º Estágio de Aquecimento
- 3 3º Estágio de Aquecimento
- 4 Setor de Esterilização (vapor)
- 5 1º Estágio de Resfriamento
- 6 2º Estágio de Resfriamento
- 7 3º Estágio de Resfriamento
- 8 4º Estágio de Resfriamento
- 9 Final do Processo de Resfriamento
- 10- Coluna de Separação

Figura-9: Autoclave Hidrostática

O sistema horizontal de autoclave similar à autoclave hidrostática, com a diferença de que o sistema opera pressurizado. Fornece agitação contínua as embalagens o que favorece a rápida troca térmica. A versatilidade deste sistema é que permite o seu uso tanto para embalagens rígidas (latas, vidros) e também saches flexíveis. A figura-10 mostra o esquema de funcionamento neste tipo de autoclave.

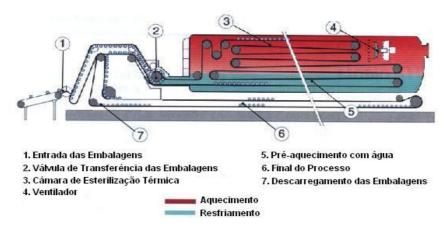


Figura-10: Autoclave horizontal (Sistema Hidrolock)

• Autoclave Rotativa

As autoclaves rotativas contínua são empregadas para esterilizar frutas, legumes, polpas e produtos de carne. Mediante uso de pelo menos uma câmara de aquecimento e outra de resfriamento.

As autoclaves rotativas proporcionam o movimento contínuo das embalagens com agitação intermitente do produto, ocorrendo com isto, uma troca térmica eficiente no produto. Este tipo de autoclave é constituída de pelo menos dos cilindros rotativos acoplados nos quais, o processo térmico e resfriamento são realizados. Dentro dos cilindros existe uma espiral que conduz as embalagens de uma extremidade para a outra extremidade. Um tambor giratório no interior movimenta as embalagens de produto, que seguem o caminho em espiral (figura-11).

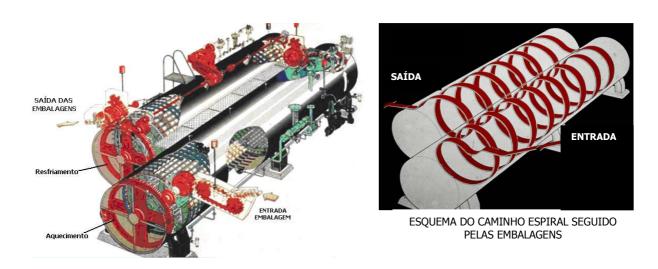


Figura-11: Esquema de Autoclave Rotativa Contínua'

Por manter as embalagens em constante agitação, as autoclaves rotativas aceleram a troca térmica, diminuindo assim o tempo de processamento preservando as características naturais dos alimentos. Este tipo de autoclave pode operar com temperaturas de até 137°C.

• Trocador de Calor de Placas

É um trocador de calor que usa sistema de re-compressão mecânica dos vapores. É um sistema eficiente de aquecimento por placas, sendo o vapor separado do produto que está sendo concentrado. Neste tipo de trocador o produto tem uma única passagem e com circulação forçada por bombas, onde um sistema de superfície de troca térmica são placas fixadas juntas, em uma armação constituindo de uma placa frontal, (figura-12).

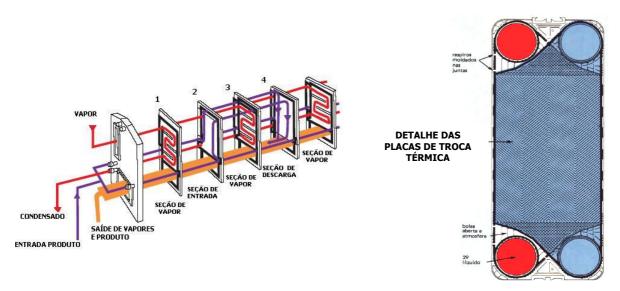


Figura-12: Trocador de calor de Placas

Os meios, na troca de calor, são levados dentro do pacote de placas, através de canais de comunicação, formados pelos furos nos cantos das placas, e são admitidos dentro das passagens, entre as placas, por meio de um certo arranjo de gaxetas. Um dos meios é direcionado dentro de cada segunda passagem, enquanto que o outro é direcionado dentro da passagem do meio. Os dois meios não podem ser misturados e estão separados por uma placa fina, através da qual o calor é transferido. A corrugação das placas provê uma passagem adequada entre elas, suportando cada placa contra a adjacente, e a forte turbulência obtida resulta na máxima eficiência de troca de calor.

O trocador de placas utiliza o princípio de película fina ascendente e descendente.

As placas são arranjadas em unidades de quatro. O vapor de aquecimento condensa-se nos espaços de placas. O produto pré-aquecido entra na base e ferve sob o contato com as placas aquecidas, eleva-se como uma fina película ascendente para o topo no espaço de placa como filme descendente, onde a ebulição continua. O produto concentrado e os seus vapores deixam o conjunto de placas e são descarregados num separador centrífugo, onde o produto é extraído e o vapor removido para o condensador.

Este modelo de trocador de calor tem grande aplicação para leite, produtos de leite, sucos de frutas, gelátinas, geléias.

Um esquema de operação deste tipo de trocador é mostrado na figura-13.

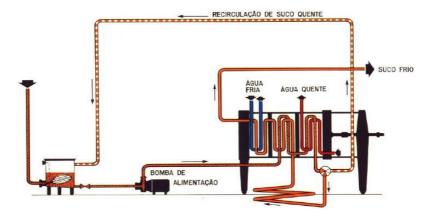


Figura-13: Esquema de funcionamento do trocador de calor de placas

PROCESSAMENTO ASSÉPTICO

O processo asséptico de produtos alimentício industrializado, é utilizado desde a década de 40. Um dos primeiros métodos utilizado comercialmente, foi o sistema HCF - heat-cool-fill (aquecer-esfriar-encher). No início da década de 50, o sistema se modernizou com a utilização de vapor superaquecido à pressão atmosférica, onde pode-se atingir temperaturas de até 175°C em um tempo de 1 a 2 segundos, dependendo do tipo de alimento e o tratamento térmico desejado, normalmente a esterilização na maioria dos alimentos é feita entre 120 a 121°C.

No sistema asséptico, o produto alimentício é esterilizado, resfriado, e transportado sob condições estéril a uma embalagem que também foi esterilizada (figura-14).

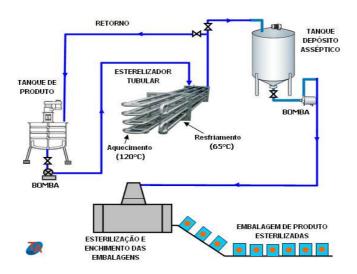


Figura-14: Esquema de um processo asséptico

O produto final será uma embalagem hermeticamente selada, contendo um alimento estéril que pode ser armazenado a temperaturas ambiente e ser conservado por um período longo de tempo porque o sistema, permiti o processamento na completa ausência de microrganismos, incluindo seus esporos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FRAZIER, W.C. & WESTHOFF, D.C. Microbiologia de Los Alimentos, ed. Acríbia, 1978.

STUMBO, C.R., Thermobacteriology in Food Processing, Academic Pres, 1973.

RUSSEL, A.D., The Destruction of Bacterial Spore, London Academic Pres, 1982.

BALL, C.O., Determining by Methods of Calculation, the Time Necessary to Process Canned Foods, 1923.

BALL, C.O. & F.C.W.OLSON, Sterilization in Food Techology, Mc Graw Hill, New York, 1957.

ITAL, Princípios de Esterilização de Alimentos, Campinas, 1992.

BANWART, G.J., Basic Food Microbiology, Westpot, 1979.

INCROPERA, F. P.; WITT, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, Ed. Afiliada, 1998.

McCabe, W.L, Smith, J.C., Harriott, P., **Operaciones Unitárias em Ingenieria Química**, McGraw-Hill, New York, 1991.

FOUST, A.S.; WENZE L.A.; CLUMP, C.W.; MAUS, L.; BRYCE ANDERSEN, L. **Princípios de Operações Unitárias**, 2a Ed.. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1982.

EARLE, R.L., EARLE, M., D., Unit Operations in Food Processing, Publis., NZIFST, New Zealand, 1983.

QUAST, D., **Cálculo da Intensidade de Esterilização e de Cozimento de Alimentos**, ITAL Campinas, SP., Instrução Técnica nº10, 1976.

MAFART, P., Génie Industriel Alimentaire, Les procédés physiques de conservation, vol-1, Lavoisier, Paris, 1996.