

***Conservação das materias primas
agroindustriais***

Profa. Dra. Delia Rita Tapia Blácido

Refrigeração

“Consiste na redução e manutenção da temperatura dos alimentos acima de seu ponto de congelamento (8°C e -1°C). A refrigeração implica mudanças no calor sensível do produto”.

Efeitos da refrigeração:

- Retardar o crescimento dos microrganismos
- Retarda as atividades metabólicas dos tecidos animais depois do sacrifício
- Retarda as atividades metabólicas dos tecidos vegetais depois da colheita
- Retarda as reações químicas e enzimáticas ($Q_{10}=2$ a 3)
- Retarda a perda de umidade

Prolonga a vida útil em dias ou semanas.

Temperaturas em que cessam determinadas atividades em alimentos:

- ✓ 10°C Produção de toxinas em *Staphylococcus* e *C. botulinum*, tipos A e B;
- ✓ 6,7°C Multiplicação de *Staphylococcus*;
- ✓ 5,2°C Multiplicação de *Salmonella*;
- ✓ 3,3°C Produção de toxinas em *C. botulinum*, tipo E;
- ✓ 0,0°C Risco devido a crescimento e atividade de bactérias causadoras de intoxicações alimentares.

Efeito da refrigeração na velocidade das reações químicas e enzimáticas e no crescimento dos microrganismos

- A refrigeração detém o crescimento dos microrganismos termófilos e de muitos mesófilos (temperatura ótima de crescimento $>10^{\circ}\text{C}$).
- Os microrganismos psicotróficos podem multiplicar-se a 5°C ou em temperaturas inferiores. Podem alterar carnes, peixes, leite, etc.
- Bactérias psicotróficas: ***Pseudomonas***, ***Alcaligenes***, ***Erwinia***, ***Corynebacterium*** e ***Flavobacterium***. Leveduras e mofos também são psicotróficos.
- Alguns microrganismos patogênicos podem proliferar-se em temperaturas de refrigeração (3°C a 10°C): ***Listeria monocytogenes***, ***Aeromonas hydrophila***, ***Clostridium botulinum***, ***Yersinia enterocolitica***, ***Vibrio parahaemolyticus*** e ***Plesiomonas shigelloides***.
- A temperatura de refrigeração deve ser mantida próxima possível a 0°C .

Fatores que devem ser controlados durante o armazenamento em refrigeração

- **Temperatura**: cada alimento tem uma temperatura de refrigeração ótima. Os tecidos animais, o leite e os ovos devem ser armazenados em temperaturas baixas (-1°C a 1°C). A temperatura deve manter-se estável durante todo o armazenamento e estender-se ao transporte, comercialização. A oscilação não deve ultrapassar $\pm 1^\circ\text{C}$.
- **Umidade relativa**: se a UR for muito elevada, a condensação de água nas superfícies dos alimentos pode favorecer o crescimento de microrganismos e o aparecimento de rachaduras em algumas frutas. Mas, se for baixa demais, o produto perde umidade, alterando seu aspecto e reduzindo seu peso. Umidade relativa ótima de armazenamento. Para ovos, leite, tecidos animais e frutas hortaliças não suscetíveis ao dano pelo frio (0°C e 90% UR). Para frutas e hortaliças que podem sofrer danos pelo frio (10°C e 85 a 90% UR).
- **Purificação e circulação do ar**: controlar o fluxo do ar (não deve ser excessivo pois pode provocar a desidratação). Purificar o ar para eliminar compostos aromáticos.
- **Luz**: salas escuras e uso de lâmpadas de luz ultravioleta (reduz o crescimento de mofo e bactérias na superfície do alimento)
- **Composição dos gases da atmosfera**

Lesão pelo frio



Escurecimento da casca, redução do amadurecimento normal ou estímulo da atividade imprópria de certas enzimas.

Tabela 2. Condições recomendadas para o armazenamento em refrigeração de vários produtos

Produto	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Vida útil	Calor de respiração (kJ kg⁻¹ dia⁻¹)
Carne bovina	-2 a 1,1	88-92	1-6 semanas	
Carne de carneiro	-2 a 1,1	85-90	5-12 dias	
Carne de suíno	-2 a 1,1	85-90	3-12 dias	
Presuntos curados	15 a 18	50-60	0-3 semanas	
Aves	-2 a 0	85-90	1 semana	
Peixe fresco	0,5 a 4,4	90-95	5-20 dias	
Peixe defumado	4,4 a 10	50-60	6-8 meses	
Queijo	1,7	65-70		
Ovos (com casca)	-1,7 a 0,6	85-90	8-9 meses	
Cebolas	0	70-75	6-8 meses	1,00
Couve-flor	0	90-95	2-3 semanas	4,48
Aspargos	0	90-95	3-4 semanas	11,09
Tomates verdes	13 a 21	80-85	3-5 semanas	7,20
Tomates maduros	4,4 a 10	85-90	7-10 dias	4,31
Morangos	-0,6 a 0	85-90	7-10 dias	5,44
Maçãs	-1,1 a -0,6	85-90	1-6 meses	1,88
Maçãs acondicionadas com 2 a 3% de CO ₂ e 2 a 3% de O ₂	-1	95	6-7 meses	
Laranjas	-1,1 a 1,1	85-90	8-10 semanas	1,67
Abacaxi verde	10 a 16	85-90	3-4 semanas	
Abacaxi maduro	4,4 a 7,2	85-90	2-4 semanas	

Refrigeração

Refrigeração natural

- Locais de sombra
- Noites frias
- Ambientes protegidos de raios solares
- Água com baixa temperatura
- Gelo dos lagos
- Rios e mares

Refrigeração artificial

- Gelo britado
- Gelo em escamas
- Gelo com substâncias químicas e antibióticos: ácidos benzóico e fumárico, a água oxigenada, o dióxido carbônico, o benzoato de sódio, o fosfato dissódico, o hipoclorito de sódio, o propionato de cálcio, o nitrito de sódio, compostos de cloramina e certos antibióticos

Refrigeração

Refrigeração mecânica

Usa fluidos refrigerantes que recirculam em um circuito fechado e são transformados sucessivamente de líquido em vapor e de vapor em líquido.

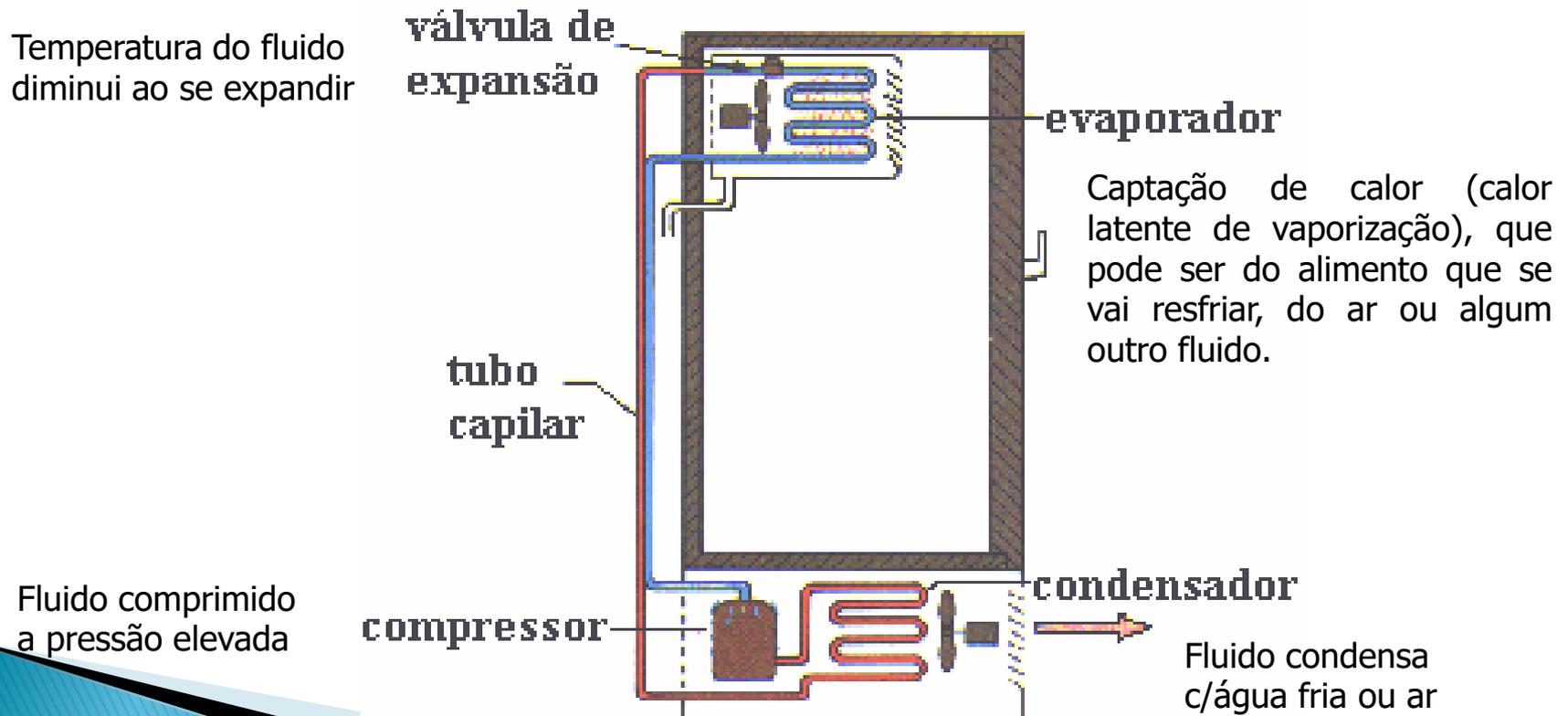


Tabela 2. Propriedades de alguns refrigerantes empregados na indústria agroalimentar

Refrigerante	Ponto de ebulição (°C) a 100 kPa	Calor latente de vaporização (kJ kg ⁻¹)	Toxicidade	Inflamabilidade
Diclorodifluorometano (CCl ₂ F ₂ ; R-12)	-29,8	163,54	Baixa	Baixa
Clorodifluorometano (CHClF ₂ -R-22)	-40,8	220,94	Baixa	Baixa
Tetrafluorometano* (CF ₃ CH ₂ F; R-134a)	-27,0		Baixa	Baixa
Amoníaco (NH ₃ ; R-717)	-33,3	1.328,48	Alta	Alta

* Não apresentam riscos para a camada de ozônio

Refrigeração

Sistemas criogênicos

- Uso de líquidos criogênicos ou gases liquefeitos com ponto de ebulição baixa e calor latente de vaporização bastante elevado.
- Os mais comuns são o dióxido de carbono (CO_2), líquido ou sólido (neve carbônica), o nitrogênio líquido (N_2) e, antigamente, o diclorodifluorometano (R-12 ou fréon 12).
- O alimento resfria pelo contato direto com esses líquidos, que, ao captarem calor dos alimentos para sua evaporação ou sublimação, asseguram a ação refrigerante.
- É um sistema de alto custo. O preço dos líquidos criogênicos é superior e geralmente não se pode reutilizá-los.

Tabela 3. Propriedades dos líquidos criogênicos normalmente utilizados na indústria

	N ₂	CO ₂	R-12 ^a
Ponto de ebulição (°C) a 100 kPa	-195,8	-78,5 (sublimação)	-29,8
Calor latente (kJ kg ⁻¹)	vaporização 199,57	sublimação 572,43	vaporização 165,24
Calor específico (kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹) do gás a 100 kPa	1,024 a 15,5°C	0,832 a 15,5°C	0,832 a 15,5°C
Capacidade refrigerante total (kJ kg ⁻¹) ^b	de -195,8°C a -18°C 381,64	de -78,5°C a -18°C 622,77	de -78,5°C a -18°C 398,31
Consumo (kg) por kg de produto congelado	1-3	1,2-3,75	0,01-0,03 ^c

^a Os clorofluorocarbonos não podem ser fabricados nem importados na União Européia desde janeiro de 1995.

^b Capacidade refrigerante total = calor latente + [calor específico × (-18°C - temperatura de ebulição ou sublimação)].

^c O P fréon R-12 pode ser recuperado.

Fonte: Dados extraídos de Fennema (1975).

Congelamento

“Redução maior da temperatura dos alimentos abaixo de seu ponto de congelamento (-10°C a -40°C)”

“Reduz a A_w do alimento, pois a água fica indisponibilizada em forma de cristais de gelo”

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Não se acrescentam nem se eliminam componentes• Não transmite nem altera o aroma natural• Não reduz a digestibilidade• Não causa perdas significativas do valor nutritivo	<ul style="list-style-type: none">• Os microrganismos não são destruídos, embora seu número diminua• Os esporos são muito resistentes• As toxinas não são destruídas• Ocorre desidratação rápida e intensa quando não há acondicionamento adequado

A geladeira doméstica congela a -10°C
Os freezers congelam a -18°C

Congelamento

Cristalização

- **Nucleação:** formação de um diminuto cristal de gelo que coexiste em equilíbrio com a fase líquida.
 - Nucleação homogênea (ocorre em soluções puras)
 - Nucleação heterogênea (os núcleos se formam sobre partículas estranhas suspensas, sólidos insolúveis, superfícies de películas ou paredes de embalagens)
- **Crescimento de cristais:** a adição organizada de moléculas de água aos núcleos formados aumentam o seu tamanho e formam os cristais. Pode ocorrer em temperaturas próximas ao ponto de fusão.

Congelamento

- **Congelamento rápido:** formação de cristais pequenos e arredondados.
 - Velocidade de nucleação aumenta (formação de muitos núcleos) e menor cristalização.
- **Congelamento lento:** formação de cristais grandes de forma alongada (como agulha)
 - Velocidade de nucleação diminui (poucos núcleos)

Congelamento

Tabela 4. Temperatura em que se inicia o congelamento em diversas matérias primas

Matéria prima	Quantidade de água (%)	Temperatura de início do congelamento (°C)
Hortaliças	78-92	-0,8 a -2,8
Frutas	87-95	-0,9 a -2,7
Carnes	55-70	-1,7 a -2,2
Peixe	65-81	-0,6 a -2,0
Leite	87	-0,5
Ovo	74	-0,5

Efeitos do congelamento

1. Danos pelo frio

- Depende da estrutura do alimento e da permeabilidade do tecido (vegetal ou animal)
- Velocidade do congelamento
- Velocidade do descongelamento

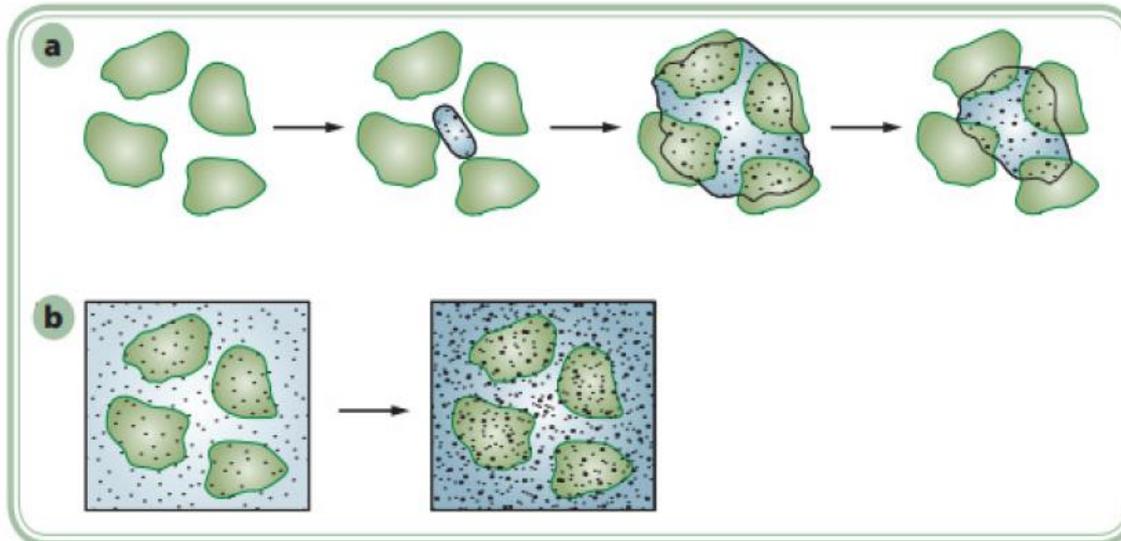


Figura 5. Efeito do congelamento em tecidos vegetais: a) congelamento lento; b) congelamento rápido.

- Formação de gelo extracelular
- Formação do gelo intracelular

Aumento da concentração de solutos, ruptura de emulsões, e desidratação

Efeitos do congelamento

2. Aumento da concentração de solutos em solução

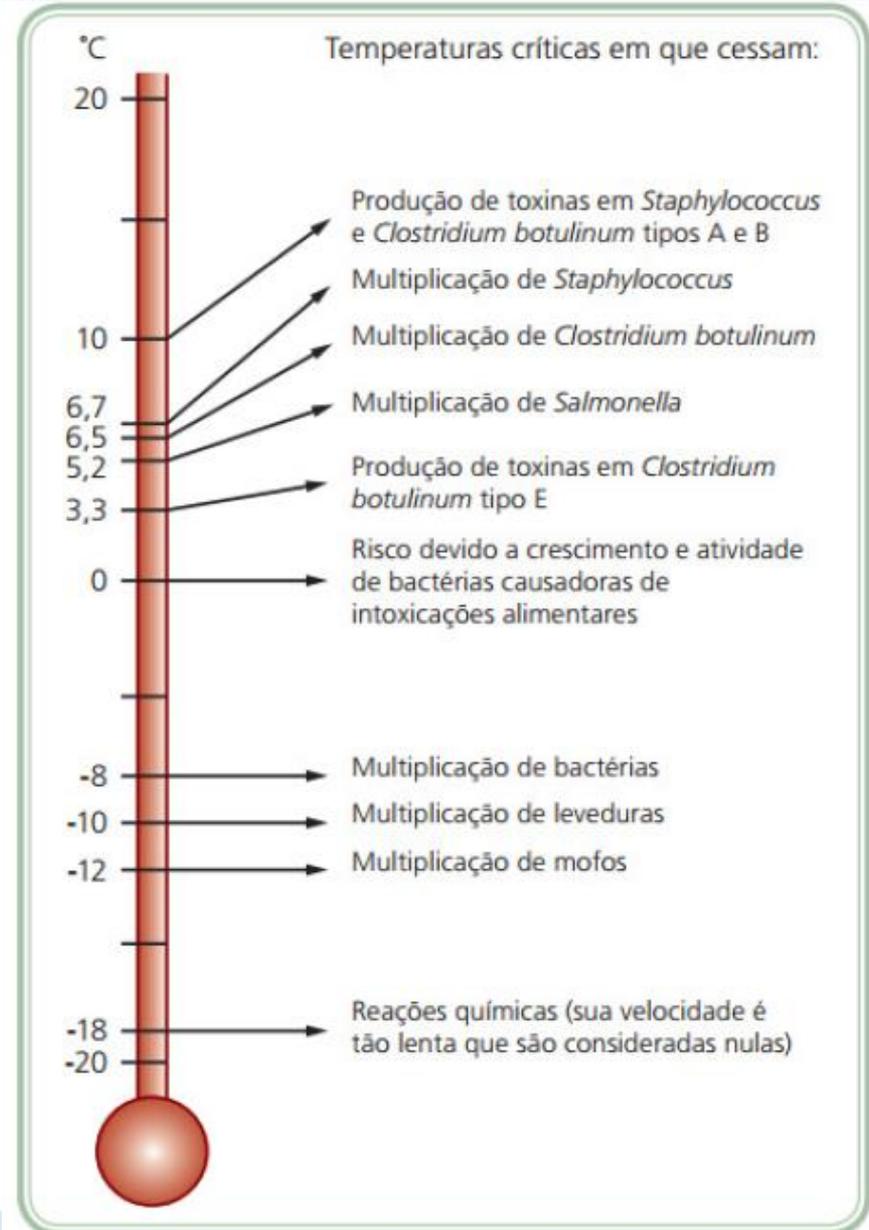
- À medida que a água presente no alimento congela, os solutos se concentram.
- Aumento das reações químicas na fração de água não congelada (-5°C e -15°C).
- Reações de oxidação, hidrólise e desnaturação proteica podem acontecer no congelamento.
- No congelamento lento, existe um tempo longo para que estas reações aconteçam.
- As enzimas podem atuar em baixas temperatura: as catalases, as peroxidases e as proteases conservam atividade até -15°C ou -17°C, as lipases, até -25°C ou -30°C, e a invertase, até mesmo a -40°C.
- As enzimas contidas nos mitocôndrias ou os lisossomos podem ser liberadas durante o congelamento pela ruptura das membranas.
- A concentração de solutos pode modificar as características da fração não congelada: pH, força iônica, viscosidade, propriedades coligativas, pressão osmótica, potencial redox, et.

Tabela 5. Período de armazenamento (meses) em congelamento a diferentes temperaturas, durante o qual diversos produtos mantêm sua qualidade.

Produto	Temperatura (°C)		
	-18	-12	-7
Carne bovina (crua)	13-14	5	<2
Carne suína (crua)	10	< 4	<1,5
Frango cru	27	15,5	<8
Frango frito	<3	<1	<0,6
Peixe magro (cru)	3	< 2,25	<1,5
Peixe gordo (cru)	2	1,5	0,8
Suco de laranja	27	10	4
Pêssegos	12	< 2	0,2
Morangos	12	2,4	0,3
Couve-flor	12	2,4	0,3
Feijões verdes	11-12	3	1
Ervilhas verdes	11-12	3	1
Espinafre	6-7	<3	0,75

Efeitos do congelamento nos microrganismos

- O congelamento e o armazenamento em congelamento a -18°C não destroem totalmente os microrganismos.
- Danos por choque térmico, crescimento de cristais de gelo intracelular e aumento de concentração dos solutos.
- Bactérias Gram positivos são mais resistentes do que as Gram negativas.
- A maior taxa de destruição das bactérias é observada imediatamente após o congelamento; depois é reduzida e estabiliza-se durante longos períodos.
- O congelamento é utilizado para conservar as bactérias nos fermentos lácticos.



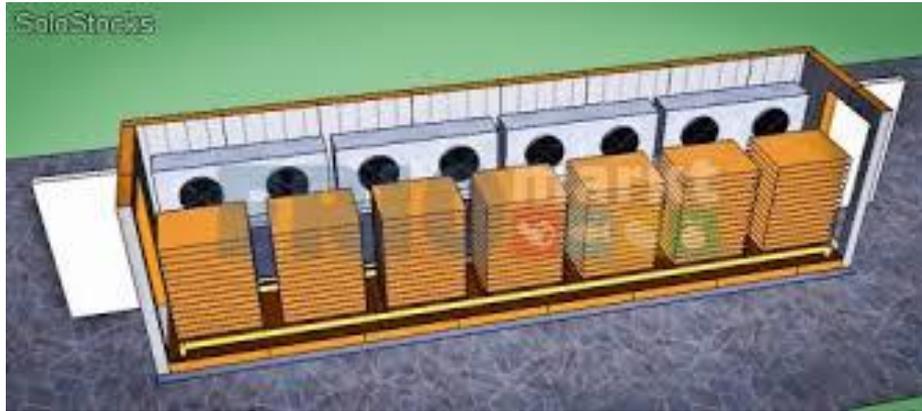
Métodos de congelamento

1. Congelamento por ar

- **Câmaras frigoríficas com ar estático**, onde o ar (-20°C a -30°C) move-se por convecção natural
 - ✓ Congelamento lento, não mantém a qualidade dos produtos
 - ✓ Usado para congelar carcaças e para armazenar produtos congelados por outros métodos.



- **Congeladores de ar forçado**
 - ✓ Congelamento rápido
 - ✓ O ar circula a grande velocidade
 - ✓ Congelam pequenos volumes de alimentos.
- **Túneis de congelamento**
 - ✓ Operação em contínuo
 - ✓ Baixo custo
 - ✓ Fluxo do ar em paralelo ou perpendicular ao alimento
 - ✓ Alimentos não acondicionados podem sofrer danos pelo frio



Túnel de congelamento

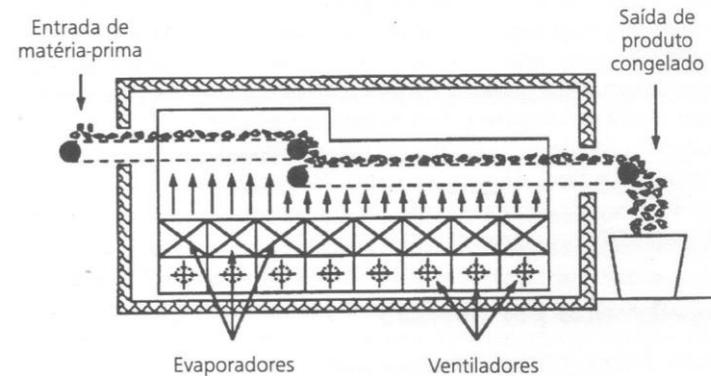


Congeladores em espiral

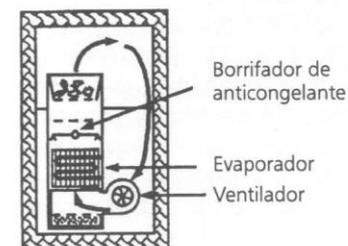
Congelador de base fluidizada

- ✓ Empregados para alimentos de menor tamanho e uniformes (ervilha, marisco, morangos, frutas e hortaliças em pedaços, etc).
- ✓ O fluxo de ar frio (-25°C a -35°C) circula perpendicularmente.
- ✓ As partículas mantem-se em suspensão pelo fluxo de ar
- ✓ Velocidade de congelamento muito rápida.

a) CORTE LONGITUDINAL



b) CORTE TRANSVERSAL



Métodos de congelamento

2. Congelamento criogênico

- ▶ Usa nitrogênio líquido
- ▶ Evita reações de oxidação, permite velocidades de congelamento rápido
- ▶ Baixo custo.
- ▶ Aplicado em produtos com grande relação superfície/volume
- ▶ Produtos como files de pescado, mariscos, files de carne, embutidos em rodelas, etc.
- ▶ Formação de uma crosta dura que permite o manejo de produtos moles (sorvete, peixes, doces).

Figura 6. Congelador criogênico de N₂ líquido. A: zona de pré-resfriamento; B: zona de congelamento; C: zona de equilíbrio; e D: zona de vitrificação

