

7. Câmaras Frigoríficas

7.1. Definição

- ◆ **É um recinto utilizado para condições controladas de armazenamento com auxílio da refrigeração;**
- ◆ **Empregadas em dois níveis básicos de armazenamento:**
 - **Instalações com temperatura acima de 0°C;**
 - **Instalações à baixas temperatura (necessidade de valores inferiores à -18°C)**

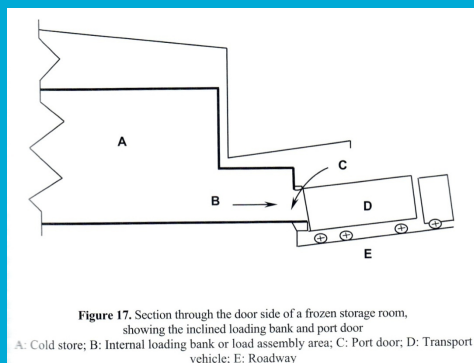
7.1. Definição

- ◆ **Fatores que devem ser considerados na escolha do tipo de câmara frigorífica:**
 - **Produto:** as câmaras frigoríficas estão voltadas para armazenamento e manutenção das qualidades do produto;
 - **Custo de investimento;**
 - **Manutenção;**
 - **Local:** disponibilidade de água, energia, vias de acesso, futuras ampliações, etc.

7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

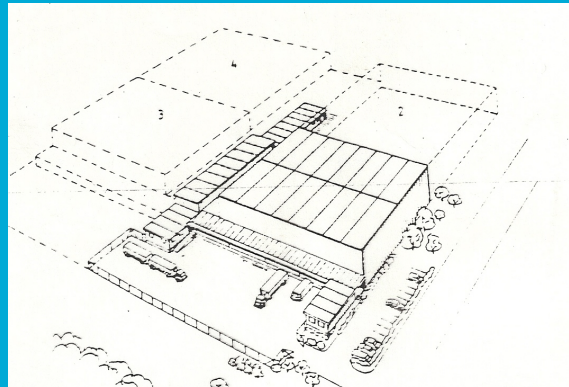
Fatores que influenciam nas dimensões de uma câmara assegurando uma operação econômica:

Tipos de recepção e saída (plataformas, circulação interna)



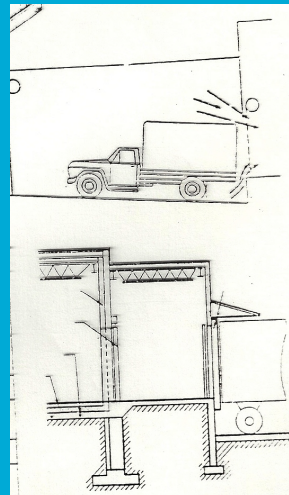
7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

Fatores que influenciam nas dimensões de uma câmara assegurando uma operação econômica:



7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

Fatores que influenciam nas dimensões de uma câmara assegurando uma operação econômica:



7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

Fatores que influenciam nas dimensões de uma câmara assegurando uma operação econômica:



7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

◆ **Fatores que influenciam nas dimensões de uma câmara assegurando uma operação econômica:**

- Quantidade de produto a ser estocado em períodos mais longos;
- Porcentagem de produto a ser estocado acima ou abaixo de 0°C;
- Quantidade e dimensões dos lotes de produtos;
- Necessidade ou não de paletização.

7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

◆ **Altura das câmaras:**

- 7 a 9 metros quando são utilizadas empilhadeiras;
- Câmaras menores (varejo): 3 metros já que a movimentação do produto é manual;

◆ **Papel da embalagem na conservação do produto:**

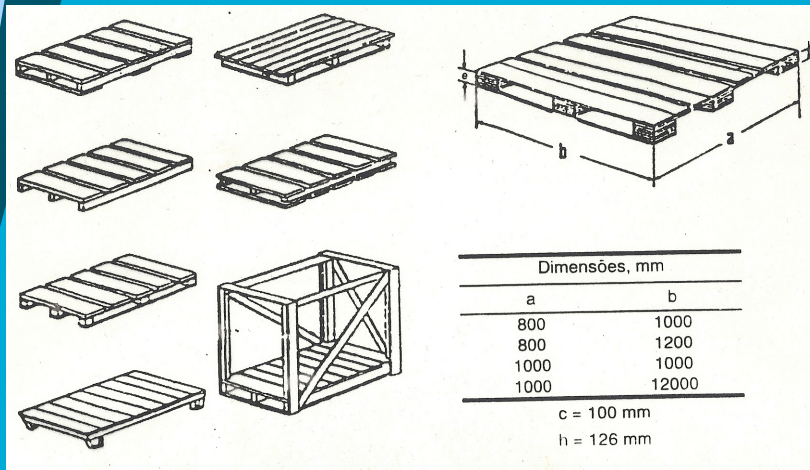
- Conservação das qualidades físicas e sanitárias;
- Padronizadas, facilitam as etapas de movimentação e transporte.

7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

◆ **Utilização de paletes:**

- reduzem o tempo de carregamento e descarregamento, permite maior controle dos lotes e maior proteção ao produto.

7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas



7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

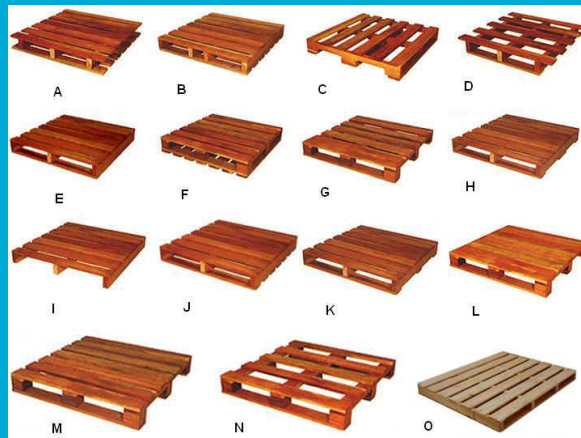
Medidas de Paletes

| Local | Medida | Padrão |
|------------------|-------------------------------|------------|
| América do Sul | 1.000 x 1.200 mm | - |
| América do Norte | 1.219 x 1.016 mm (48x40") | - |
| América do Norte | 1.054,2 x 1.054,2 mm (42x42") | - |
| Brasil | 1.000 x 1.200 mm * | PBR1 |
| Brasil | 1.050 x 1.250 mm * | PBR2 |
| Ásia | 1.100 x 1.100 mm | JIS |
| África | 1.000 x 1.200 mm | - |
| Europa | 1.200 x 800 mm | Europallet |
| Europa | 1.000 x 1.200 mm | Europallet |
| Europa | 1.140 x 1.140 mm | Europallet |

*padronizada, mas existem várias medidas no mercado, de acordo com a utilização desejada pelo cliente.

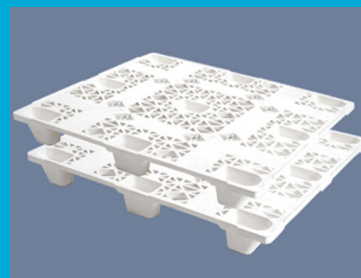
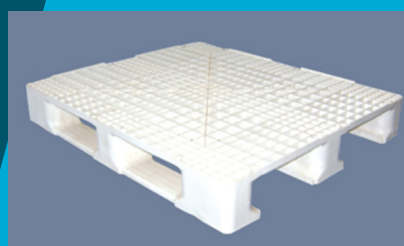
7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

Tipos de Paletes



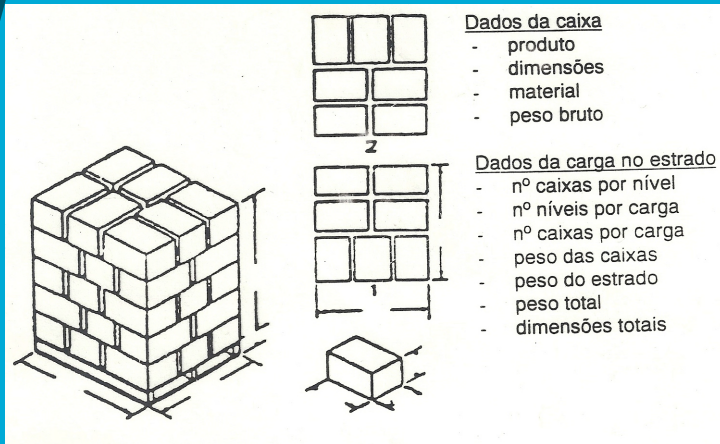
7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

Tipos de Paletes



7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

Estruturação de Paletes



7.2. Dimensões de câmaras frigoríficas

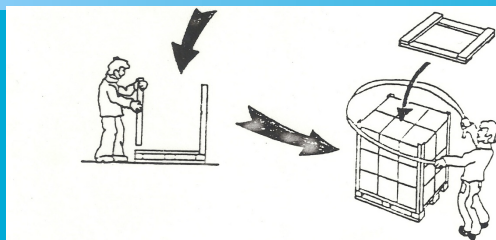


Figura 13.3 - Montagem de montantes em um palete.

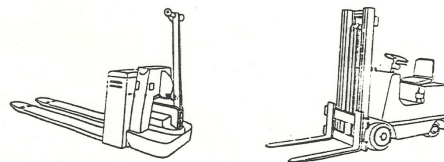


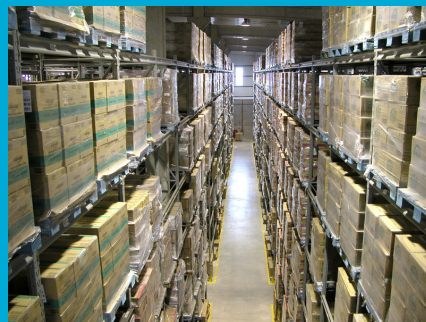
Figura 13.4 - Ilustração de paleteira a empilhadeira.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

- **Considerações:**
- Deverá estar previsto corredores para o deslocamento das empilhadeiras na câmara frigorífica;
- O piso da câmara deverá estar marcado indicando os limites do corredor e os espaços onde serão colocados os paletes ou caixas contendo o produto;
- Há necessidade de ventilação entre os paletes e entre eles e a parede da câmara.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

Considerações:



7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ **Construção:**

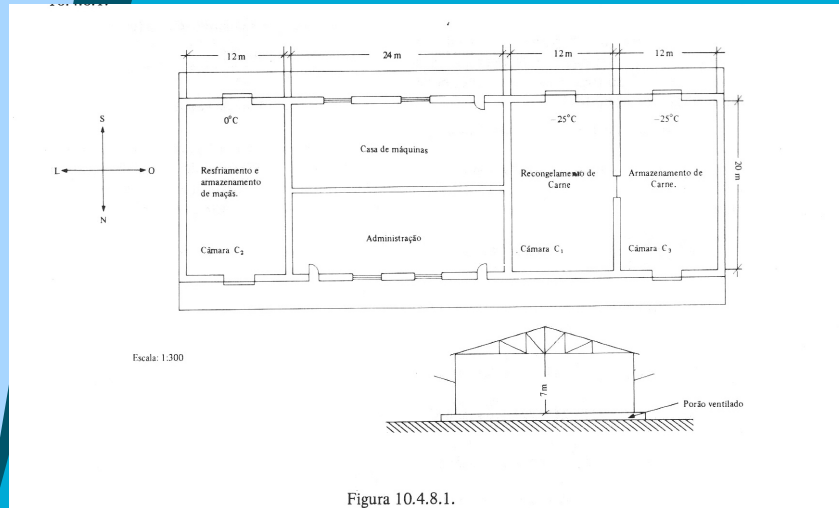
- **1º Caso:** Aplicação de isolamento em alvenaria;
- **2º Caso:** Painéis construídos com placa interna de isolante prensado entre placas metálicas, polímeros ou fibra de vidro.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

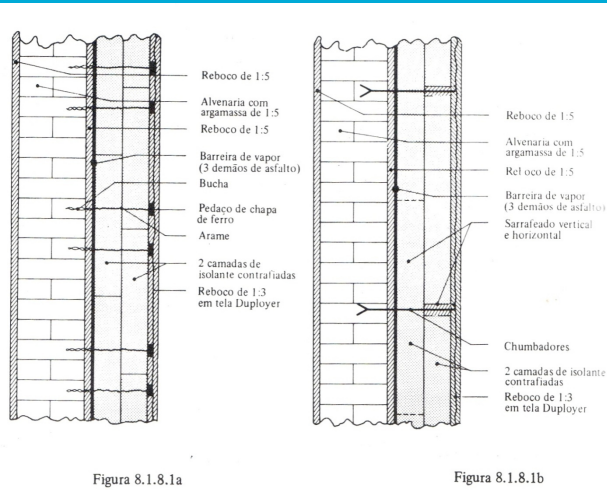
■ **1º Caso:**

- Mais comum, principalmente para câmaras maiores;
- Construção do prédio com acabamento final nas paredes, piso e teto.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas



7.3. Construções de câmaras frigoríficas



7.3. Construções de câmaras frigoríficas

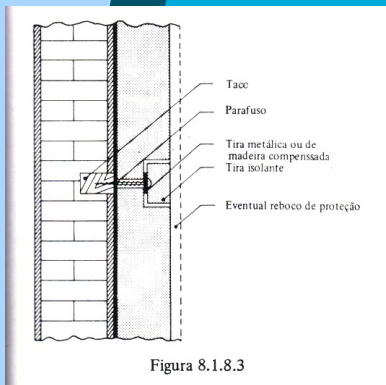


Figura 8.1.8.3

| Material Isolante | ρ kg/m ³ | kcal h·m m ² ·°C | Resistência | | Permeabilidade g/m ² ·h·mmHg |
|---|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|
| | | | Mecânica: kg/cm ² | Resistência à temperatura: °C | |
| Aço ordinário | 7800 | 45 a 50 | | | nula |
| Vidro | 2500 | 0,65 | | | nula |
| Concreto | 2300 | 1,2 | | | 22,3 |
| Pedra (granito) | 2600 | 3,0 | | | |
| Alvenaria | 1800 | 0,84 | | | 220,98 |
| Asfalto | 2120 | 0,65 | | | |
| Madeira (Pinho e) | 550 | 0,14 a 0,30 | | | 6,0 a 9,0 |
| Serapim de Madeira | 200 | 0,06 | | | |
| Fibra de madeira aglomerada (Eucatex frigorífico) | 210 | 0,028 | 20 | | 30 a 2800 |
| Cortiça | 200 | 0,045 | 1,0 | 100 | 66,0 |
| Cortiça aglomerada | 200 | 0,036 | | 100 | |
| Lã de Vidro | 100 a 200 | 0,025 a 0,045 | | 540 | 80,6 |
| Lã de rocha | 100 a 200 | 0,025 a 0,035 | | 600 | |
| Vermiculite (cortiça mineral) | 70 | 0,04 | Fraca | 1000 | 10 a 39 |
| Concreto celular | 300 a 60 | 0,049 a 0,12 | | | |
| Espuma de plástico | 25 | 0,035 | | 80 | |
| Espuma de borracha | 80 | 0,03 | | 65 | |
| Poliuretano Expandido (styroport) | 15 a 30 | 0,028 | 0,3 a 0,7 | | 13 a 1,82 |
| Espuma fenólica rígida | 30 a 45 | 0,026 | Fraca | | |
| Espuma rígida de poliestireno (styrofoam) | 30 | 0,028 | 1,0 a 2,0 | | |
| Espuma rígida de poliuretano (moltopren) | 30 a 45 | 0,02 | 2,0 | | Baixa |
| Espuma rígida de vidro (Foamglas) | 145 | 0,046 | 7,0 | 430 | Nula |

Tabela 8.1.3.1

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

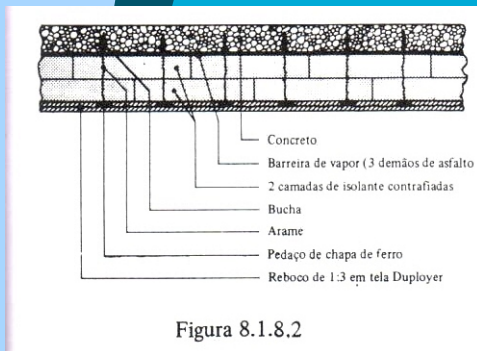


Figura 8.1.8.2

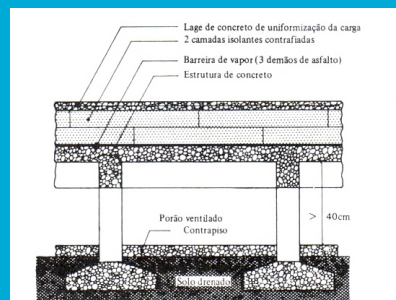


Figura 8.1.8.4

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ 2º Caso:

- Construídas em diversas dimensões com diversas espessuras das placas de isolante;
- Processo de fixação: as juntas são preenchidas com materiais flexíveis (elastômeros) e resistentes que atuam como junta de dilatação;
- Vantagem no tempo de montagem e redução na mão-de-obra.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

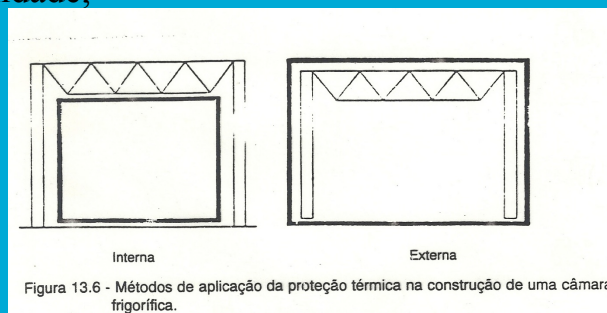


7.3. Construções de câmaras frigoríficas



7.3. Construções de câmaras frigoríficas

- ◆ **Para ambos os casos:**
 - Revestir completamente interna ou externamente a estrutura obtendo proteção contra calor e umidade;



7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ **Piso:**

- Considerações com relação ao tipo de solo e proximidade de lençol freático;
- Para T menor que 0°C deverá ser construído para permitir a circulação de ar externo, impedindo um possível congelamento (condensação de vapor d'água) responsável por trincas;
- Para não destruir o isolamento durante a movimentação do produto utiliza-se o chamado piso de rolamento (laje de concreto com boa resistência mecânica);
- Deve ter uma pequena inclinação principalmente em câmaras que exigem algum tipo de lavagem.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ **Teto:**

- Protegido contra incidência direta de luz solar (responsável por uma considerável carga térmica);
- Ter boa ventilação externa e acesso para instalações de tubulações e elétricas;
- Ausência de vigas expostas para evitar cantos que prejudiquem a vedação e isolamento;
- Emprego de ferragens deve ser estudado para evitar condução de calor entre a parte interna e externa provocando pontos de condensação.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Iluminação:

- Iluminação interna deverá ser suficiente para apenas identificação do produto;
- Os pontos de luz deverão ser protegidos adequadamente por meio de globos ou caixas especiais.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Portas:

- Seleção: tipo de tráfego e operação;
- Fabricadas em diversos modelos, movimentadas manual ou eletricamente;
- Para reduzir a entrada de ar externo são utilizadas cortinas de ar ou cortinas plásticas;

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Cortinas de ar

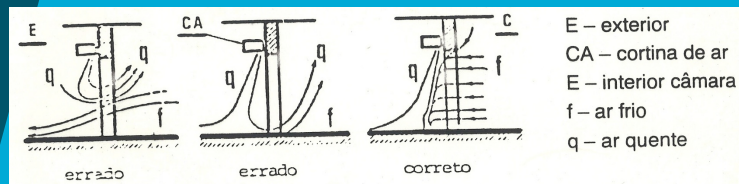


Figura 6.3 – Comportamento do fluxo de ar da cortina à entrada da câmara, em função da velocidade e direção do fluxo adotado

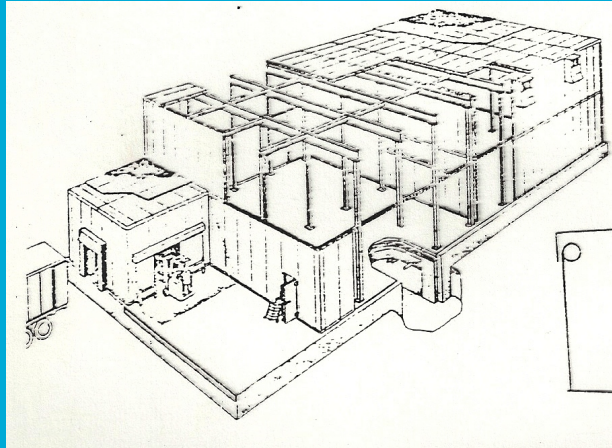
7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Ante-camaras:

- Dependendo das condições de operação são utilizadas ante-câmaras para reduzir a entrada de ar quente e úmido para o interior da câmara que vai ocasionar excessiva formação de gelo no evaporador;

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Ante-câmaras:



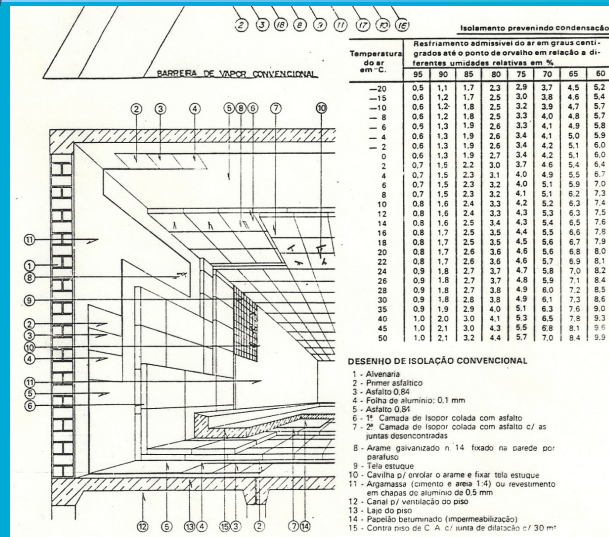
7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Isolamento

■ Finalidade do Isolamento:

- Diminuir a entrada de calor;
- Isolar a área fria: se a câmara frigorífica não estiver devidamente isolada será necessária uma carga adicional de refrigeração ⇒ Deverá ser circulado um volume maior de ar exigindo ⇒ ventilador mais potente;
- Prevenir a condensação nas superfícies das paredes.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas



7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Fatores a ser considerado na escolha do isolante:

- Econômico;
- Resistência a insetos e microrganismos;
- Riscos de fogo;
- Poeira ou vapores indesejáveis;
- Partículas que possam irritar a pele;
- Odores;
- Resistência à decomposição;
- Facilidade de instalação;

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

Tabela 4.1 – Propriedades de alguns isolantes mais comuns.

| Isolante | Cortiça | Fibra de Vidro | Poliestireno Expandido | Poliuretano Expandido |
|---|--------------------|----------------|------------------------|-----------------------|
| Densidade (kg/m ³) | 100 – 150 | 20 – 80 | 10 – 30 | 40 |
| Condutividade Térmica (kcal/m.h.°C) | 0,032 | 0,030 | 0,030 | 0,020 |
| Resistência a Passagem de Água | regular | nenhuma | boa | boa |
| Resistência à Difusão de Vapor, em Relação ao Ar Parado | 20 | 1,5 | 70 | 100 |
| Segurança ao Fogo | pobre | boa | pobre | pobre |
| Resistência a compressão (kg/m ²) | 5000 | nenhuma | 2000 | 3000 |
| Custo | relativamente alto | baixo | relativamente alto | alto |

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Propriedade do material em retardar o fluxo de calor:

- Condutividade térmica;
- Resistência térmica.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Barreira de vapor:

- Presença de água ou gelo no isolamento provoca alterações na eficiência da barreira térmica pois a condutividade térmica do gelo é maior que a do ar no interior do isolamento;
- **Umidade crítica:** ocorre quando a temperatura do isolante está abaixo do ponto de orvalho do ar ambiente, e o vapor d' água do ar se condensa no isolamento;
- O efeito da umidade na condutividade do isolante não é muito sério quando está na forma de vapor, a condutividade aumenta pela presença de umidade condensada.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Barreira de vapor:

- Resistência à difusão do vapor: Tabela 4.1;
- É importante a determinação do perfil de temperatura ao longo do isolante de modo a evitar algum ponto onde possa ocorrer condensação;

◆ Aplicações de barreira de vapor:

- Isolamento térmico;
- Tubulações frias.

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Finalidades da barreira de vapor:

- Prevenir a formação de água no interior do isolante ⇒ manter o isolamento seco reduzindo a carga térmica para o sistema de refrigeração;
- Prevenir danos estruturais por apodrecimento, corrosão ou destruição pela expansão da água ao congelar;
- Deve ser colocada no lado do isolamento exposto à alta pressão de vapor, (lado quente).

7.3. Construções de câmaras frigoríficas

◆ Materiais usados como barreira de vapor:

- Folhas de alumínio;
- Folhas plásticas;
- Camadas de asfalto frio.

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ Para seleção de uma câmara e equipamentos frigoríficos devem ser preenchidos os seguintes itens, levando em consideração à carga térmica necessária:

- **Clima:** ganho de calor pelas paredes e piso;
- **Dados estatísticos de:**
 - Temperatura média de bulbo seco do mês mais quente;
 - Umidade relativa do mesmo mês;
 - Temperatura máxima de bulbo seco que se pode esperar no mês.

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

- **Água:**
 - Origem;
 - Quantidade disponível.
- **Energia:**
 - Energia disponível;
 - Quantidade máxima que pode ser fornecida.

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ **Produtos:**

- Tipo;
- Quantidade a ser resfriada ou congelada;
- Temperatura de recebimento e resfriamento;
- Entrada e saída diária na câmara;
- Tipo de embalagem;
- Características físicas do produto;
- Finalidade do produto (venda direta, distribuição, matéria-prima, etc.)
- Tipos de movimentação que recebe.

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ **Descrição da instalação:**

- Localização;
- Dimensões;
- Cópia do prédio existente;
- Área disponível;
- Liberdade de planejamento.

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ Carga Térmica por Transmissão:

■ $Q = S \cdot U \cdot (T_e - T_i) \cdot 24h$

■ **Observações:**

- Corrigir a temperatura com relação à orientação (leste, oeste, norte e teto) se estiver exposta ao sol;
- Em um prédio sem receber raios solares a temperatura externa será a temperatura de bulbo úmido da região;

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

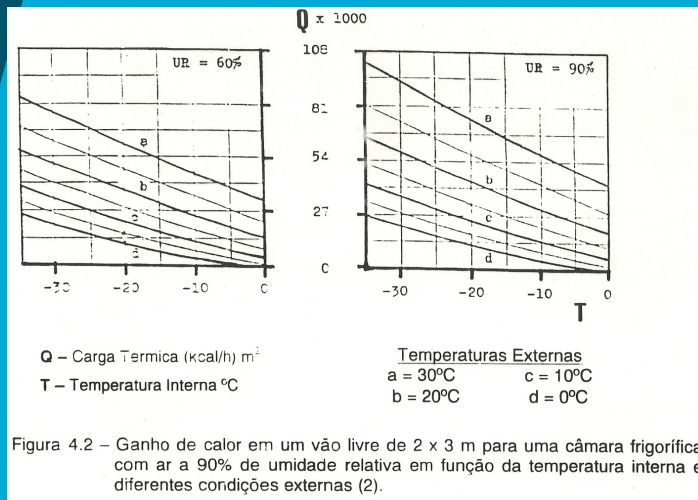
◆ Carga Térmica por Infiltração:

■ Carga térmica adicional com relação ao ar que entra na câmara cada vez que a porta é aberta;

■ $Q = \frac{V}{\gamma} \cdot n \cdot (H_e - H_i)$

■ Outro método para calcular a carga térmica de infiltração toma como base a área livre da porta, os valores podem ser obtidos através de gráficos ou equações empíricas (Figura 4.2)

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas



7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

- ◆ **Carga térmica do produto:**
 - Composta pela retirada de calor do produto para reduzir a temperatura até o nível desejado e da geração de calor durante a estocagem como no caso de frutas e hortaliças;

- ◆ **A quantidade de q a ser removida é calculada conhecendo-se:**
 - O Produto; Seu estado inicial;
 - Massa; Cp ↑ e ↓ do congelamento;
 - Temperatura de início de congelamento;
 - Calor latente.

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ Carga térmica do produto:

■ Assim deve-se calcular:

- q removido no resfriamento
- $Q_a = m \cdot C_{p1} \cdot (T_1 - T_2)$
- q removido no resfriamento até a temperatura de início de congelamento
- $Q_b = m \cdot C_{p1} \cdot (T_1 - T)$
- q removido no congelamento
- $Q_c = m \cdot L$
- q removido na redução de temperatura entre o início de congelamento até o valor final desejado
- $Q_d = m \cdot C_{p2} \cdot (T_f - T)$

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ Carga térmica do produto:

■ Deve-se considerar a embalagem

- $Q = m_e \cdot C_{pe} \cdot \Delta T$

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ Outras fonte de energia dissipadas no espaço refrigerado:

- Luzes;
 - Tipo de lâmpada e intensidade de luz resultam em carga térmica apreciáveis (Tabela 4.5)

Tabela 4.5 – Calor dissipado (kcal/h) para diferentes tipos de lâmpadas e intensidade luminosa (7).

| Intensidade (lux) | Vapor de mercúrio | Fluorescente | Sódio | Incandescente |
|-------------------|-------------------|--------------|-------|---------------|
| 75 | 5,0 | 6,7 | 2,3 | 15,3 |
| 125 | 8,3 | 11,1 | 3,8 | 25,4 |
| 250 | 17,0 | 22,2 | 7,6 | 50,7 |

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ Outras fonte de energia dissipadas no espaço refrigerado:

- Motores dos ventiladores;
- Motores e movimentação de empilhadeiras;
 - A instalação de motores dentro do espaço refrigerado deve ser considerada no cálculo da carga térmica (Tabela 4.6)

Tabela 4.6 – Calor equivalente para motores elétricos (kW/kW) (1).

| Motor (kW) | Motor no espaço refrigerado | Motor fora do espaço refrigerado |
|------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 0.1 a 0.4 | 1,8 | 1,0 |
| 0.4 a 2.2 | 1,5 | 1,0 |
| 2.2 a 15,0 | 1,3 | 1,0 |

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ Outras fonte de energia dissipadas no espaço refrigerado:

- As pessoas também dissipam calor para a câmara frigorífica e isto depende da movimentação, temperatura, roupa, etc. (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 – Calor equivalente por pessoa (1).

| Temperatura (°C) | Kcal/h |
|------------------|--------|
| 10 | 180 |
| 4 | 210 |
| -12 | 300 |
| -24 | 350 |

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

◆ Carga térmica total:

- É a soma das cargas determinadas para cada fonte de dissipação de calor na câmara frigorífica (Tabela 4.8).

7.4. Seleção de câmaras frigoríficas

Tabela 4.8 - Resumo dos valores da carga térmica de uma câmara com capacidade para 300 toneladas de maçãs, supondo-se um carregamento diário de 15 toneladas. Note o valor correspondente ao resfriamento do produto (33.000 kcal/24h) em relação ao total.

| Fonte de Carga Térmica | Q (kcal/24h) | |
|---|--------------|-----------------|
| Transmissão | 118.548 | Q _{TR} |
| Infiltração | 40.318 | Q _I |
| Produto (máxima estocagem) | Resfriamento | Q _P |
| | Respiração | |
| Iluminação | 4.008 | Q _{IL} |
| Pessoas | 3.600 | Q _{PE} |
| Empilhadeira | 12.900 | Q _{EM} |
| Sub-total 1 | 636.544 | |
| Ventiladores (10%) | 63.654 | Q _{VE} |
| Sub-total 2 | 700.200 | |
| Segurança (10%) | 70.020 | |
| Total | 770.220 | |
| Capacidade Frigorífica = $770.220/24 = 32.100$ kcal/h | | |
| $770.220/20 = 38.520$ kcal/h | | |