

# **Câmaras de conservação**

**- Aspectos de dimensionamento -**

---

**Disciplina de Tecnologia Pós-colheita**  
Mestrado em Ciência e Tecnologia Pós-colheita  
Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

Domingos Almeida

# Câmaras

---

- Câmaras de grande capacidade
  - Armazenamento de longa duração
  - Construídas
  - Atmosfera normal vs. atmosfera modificada
  
- Câmaras de pequena capacidade
  - Armazenamento de pequena rotação
  - Rotatividade
  - Montada com painéis pré-fabricados

# Dimensões

---

---

- Em função da previsão de colheita ou de compra e da densidade de armazenamento
- Instalação dimensionada para armazenar o máximo previsto/ano
- Enchimento (carga): 6-10 dias
- Esvaziamento (descarga): 3-4 semanas
- Capacidades habituais: 100-400 t

# Densidades de armazenamento

---

---

- Geral: 130-160 kg/m<sup>3</sup>

Maçã: 250 kg/m<sup>3</sup>

Pêra: 280-300 kg/m<sup>3</sup>

Pêssego: 220 kg/m<sup>3</sup>

- Volume desocupado (indicativo): 20% (até 40%)

# Dimensões – valores indicativos

---

---

- Evitar dimensionar câmaras com  $> 1500 \text{ m}^3$
- **Altura máxima:**  $\sim 8\text{m}$  (câmaras de grande capacidade)
  - $\sim 10 \text{ m}$  em sistemas com prateleiras (*racks*)
  - Altura max. de empilhamento sem *racks*: 5-6 m
- (Altura mínima:  $\sim 6 \text{ m}$ )

# Dimensões – valores indicativos

---

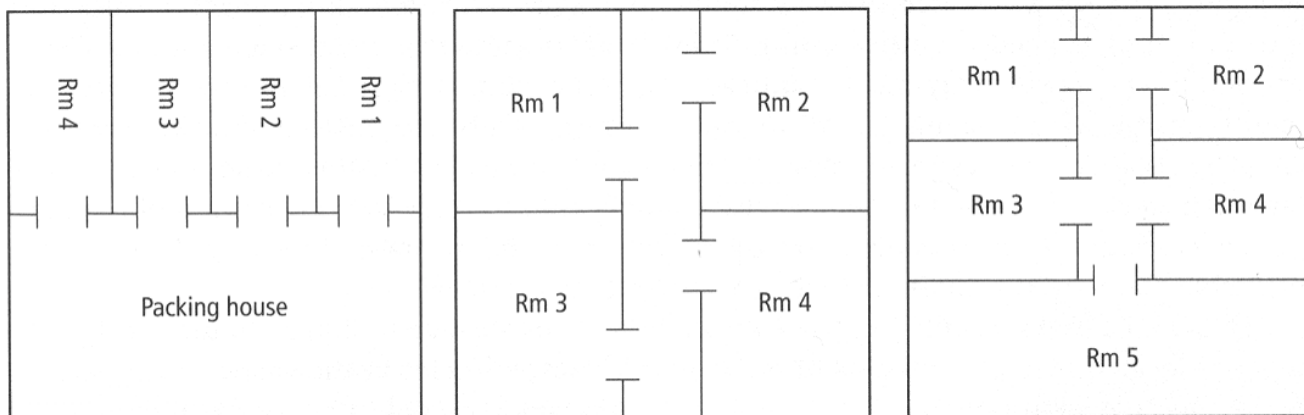
- Geometria preferível da área coberta
  - Quadrado menor área de parede por  $m^2$  de chão do que rectângulo.
  - Rectângulo: maior custo de construção e maiores ganhos de calor

# Disposição das câmaras

---

---

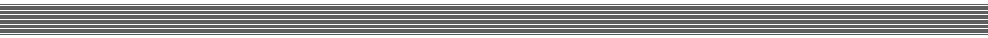
## • Exemplos



## • Princípios

- Portas abrem para corredor ou ante-câmara
- Fluxos de produto
- Área de corredor vs área de câmaras

# Isolamento





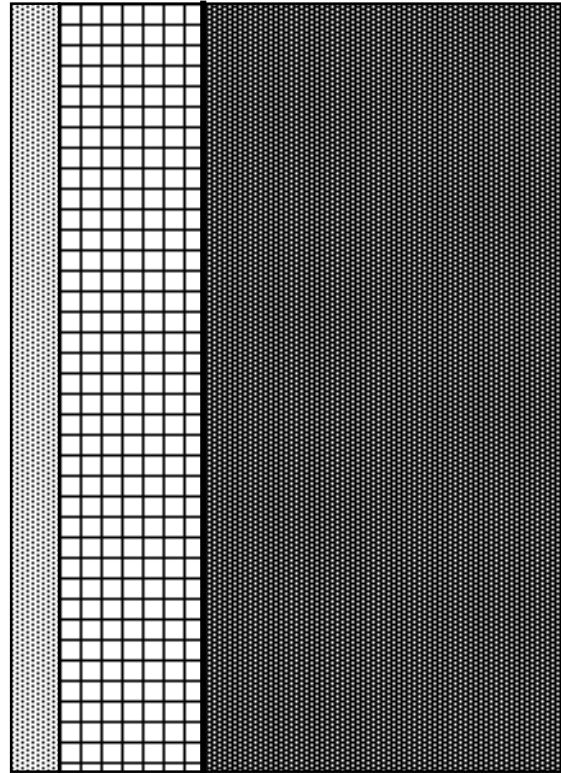
# Constituição típica de uma parede de câmara construída

---

---

Barreira anti-vapor

Revestimento interior



Alvenaria  
ou revestimento  
do painel

Isolamento

# Condutividade térmica

---

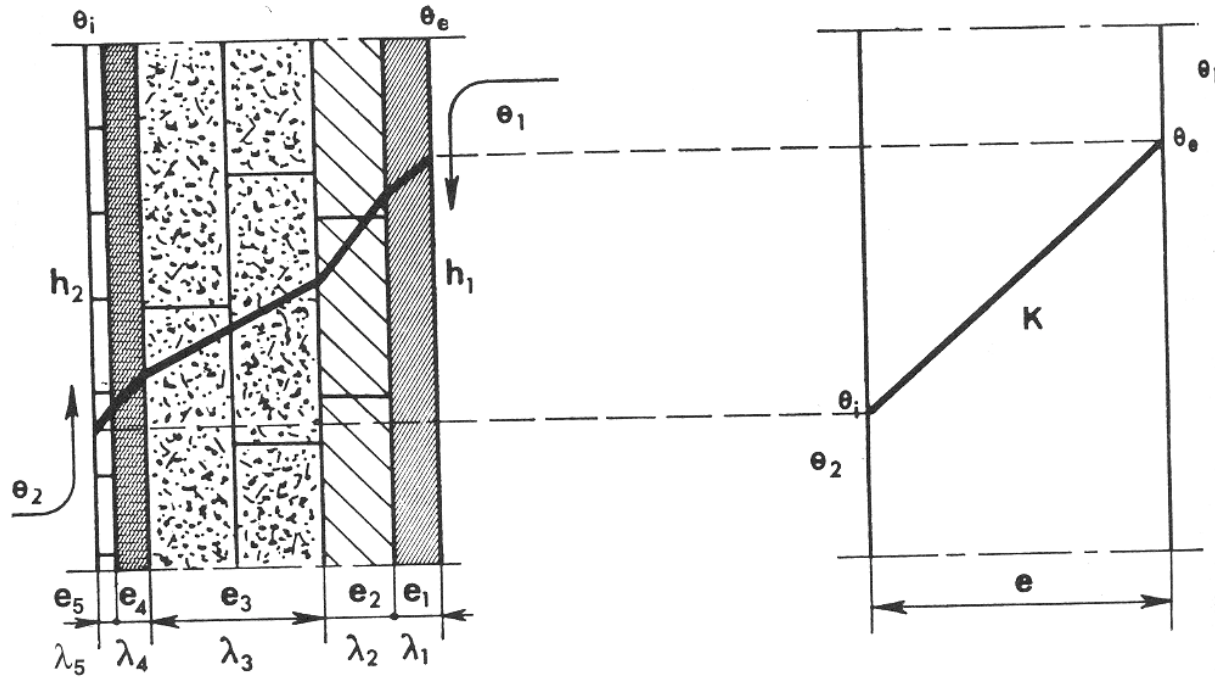
---

- Quantidade de calor que é conduzida por unidade de tempo através de uma unidade de espessura de uma material se existir um gradiente de temperatura através dessa espessura.

$$\lambda \quad W / m / ^\circ C$$

Metais:	50-400 W/m/°C
Ligas:	10-120 W/m/°C
Água (a 20 °C):	0,597 W/m/°C
Ar (a 20 °C):	0,0251 W/m/°C
Materiais isolantes:	0,035-0,173 W/m/°C

# Transmissão através de paredes



# Transferência global de calor

## Condução-convecção

---

---

$$q = UA(T_e - T_i)$$

- $q$ , perda de calor (W)
- $A$ , superfície exposta ( $m^2$ )
- $U$ , coeficiente global transferência de calor ( $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ )
- $T_i$ , temperatura do ar interior ( $^\circ C$ )
- $T_e$ , temperatura do ar exterior ( $^\circ C$ )

# Transmissão de calor através das paredes

---

---

Coeficiente global de transmissão (W/m<sup>2</sup>/K)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}}$$

# Características de um bom isolante

---

- Baixa densidade
- Não higroscópico
- Não inflamável ou auto-extinguível
- Resistência à compressão
- Não reactivo com materiais de construção
- Imputrescível
- Inodoro

# Materiais isolantes

---

---

Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Coef. condutividade térmica (W/m/°C)
Fibra de vidro ou lã de vidro	22	0,035
	29	0,032
Poliestireno expandido	16	0,040
	20	0,038
	25	0,038
Poliuretano	30-40	0,016-0,019 (novo)
		0,024 (velho)

---

# Espessura do isolamento

---

---

- **Objectivo:**
  - **Equilíbrio entre:**
    - Custo inicial (investimento)
    - Custos de operação
- **Manter a transmissão global de calor entre**
  - $0,3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  ( $R = 3,5 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ )
  - $0,14 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  ( $R = 7 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ )
- **Isolamento do tecto**
  - $0,094 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  ( $R = 10,6 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ )



# Cálculo da espessura do isolamento

---

---

Coeficiente de transmissão global (W/m<sup>2</sup>/°C)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}}$$

Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior:  $h_e = 20 \text{ W/m}^2/\text{°C}$

Coeficiente de transmissão térmica da parede interior :  $h_i = 10 \text{ W/m}^2/\text{°C}$

Valor de U normalmente assumido:  $0,3 \text{ W/m}^2/\text{°C}$

Fórmula expedita

$$U = \frac{\lambda}{e} \Leftrightarrow e = \frac{\lambda}{U}$$

# Exercício

---

---

Calcule a espessura de um isolamento de poliestireno expandido encostado a uma parede de betão de 25 cm de espessura assumindo um valor de  $U=0,3 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ .

Condutividade poliestireno:  $0,03 \text{ W/m}^2/\text{°C}$

Condutividade betão:  $1 \text{ W/m}^2/\text{°C}$

$$0,3 = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,25}{1} + \frac{x}{0,03} + \frac{1}{10}}$$

$$x = 0,088m$$

# Barreira anti-vapor

---

- **A eficácia do isolamento depende da barreira anti-vapor**
- Reduzir as trocas gasosas com o exterior
- Diminuir a pressão parcial de vapor de água que chega ao isolamento
- Não deve permitir transferência de água superior a  $1-2 \text{ g/m}^2/24\text{h}$
  
- **Materiais**
  - Chapas de aço
  - Lâminas de alumínio
  - Polietileno
  - Emulsões betuminosas

# Câmaras de AC

---

---

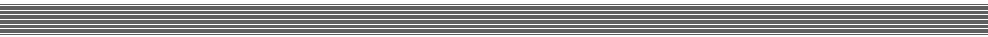
- Paineis de poliuretano 35-40 kg.m<sup>-3</sup> recobertas de cada lado com chapa de aço tratada e lacada
- Juntas seladas hermeticamente
- Portas
  - Estanques, fecho hermético
- Sistemas de equilíbrio da pressão
  - Válvulas equilibradoras de pressão
  - Sacos de compensação

# Medição da hermiticidade

---

- Submeter a câmara a sobrepressão ou depressão de 20 mm H<sub>2</sub>O
- Não deve re-equilibrar a pressão em menos de 1 h

**Estiva**



# Estiva

---

---

- Favorecer uma circulação metódica do ar na carga armazenada para:
  - Arrefecimento rápido (no caso do arrefecimento em câmara)
  - Assegurar a homogeneidade da temperatura na câmara
    - Armazenamento de longa duração: diferença máxima 1 °C
    - Armazenamento de curta duração
- Fácil remoção do etileno das embalagens

# Princípios de uma boa estiva

## Armazenamento de longa duração

- Se não houver pré-arrefecimento, não ultrapassar a carga diária prevista no dimensionamento
- As aberturas nas paletes ficam orientadas na direcção paralela à circulação do ar
- Volume livre: 10-20% do volume total da câmara
- Circulação do ar
  - Velocidade à saída do evaporador: 2-5 m/s
  - Velocidade de contacto com os produtos em arrefecimento: 0,3-0,5 m/s
  - Velocidade de contacto com os produtos em armazenamento: 0,05-0,2 m/s



# Distâncias a respeitar (indicativas)

## Armazenamento de longa duração

---

---

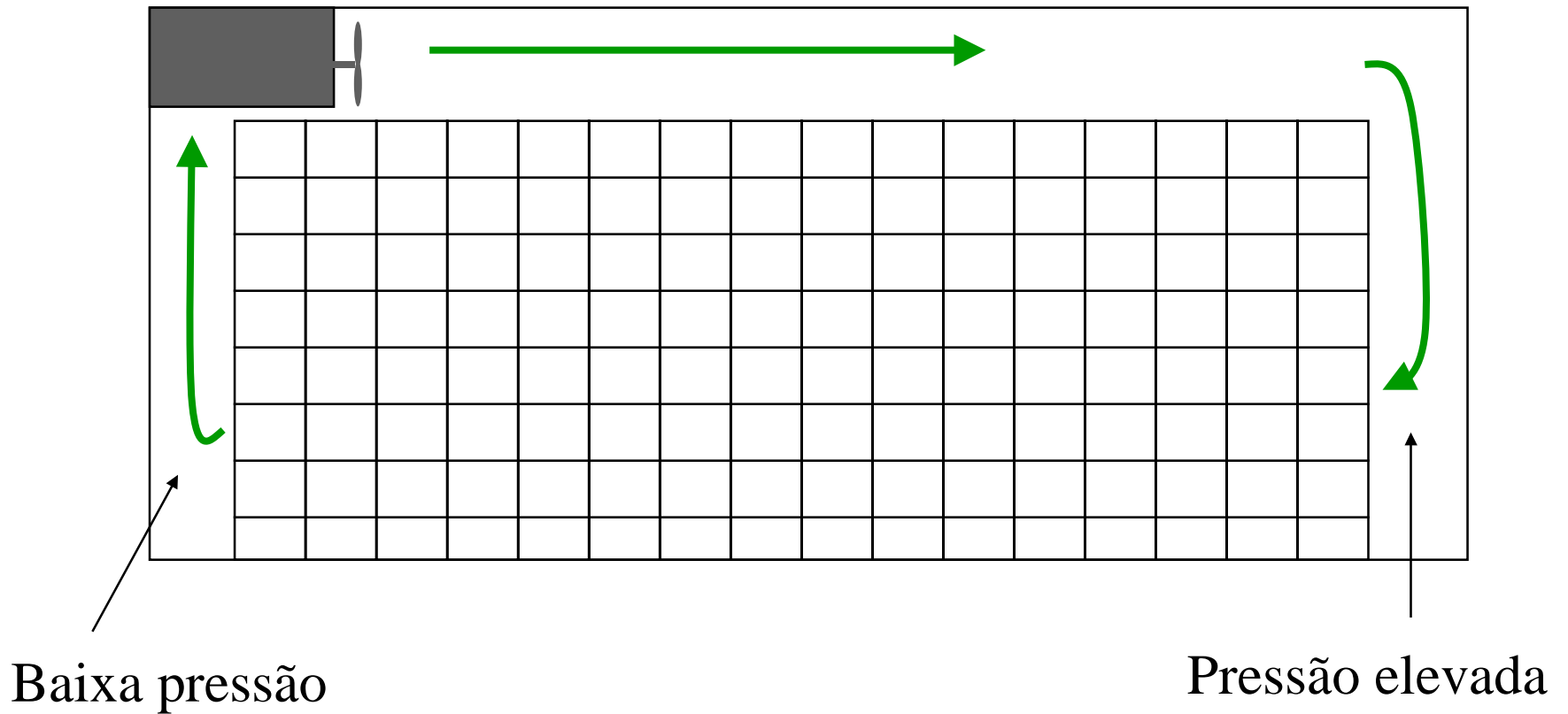
Distâncias entre a carga e	Distância (m)
Parede oposta ao evaporador	0,50 – 0,80
Parede do lado do evaporador	0,50
Paredes laterais	0,20-0,40
Tecto	0,80-1,00

---

# Representação esquemática das zonas de sobrepressão e de depressão

---

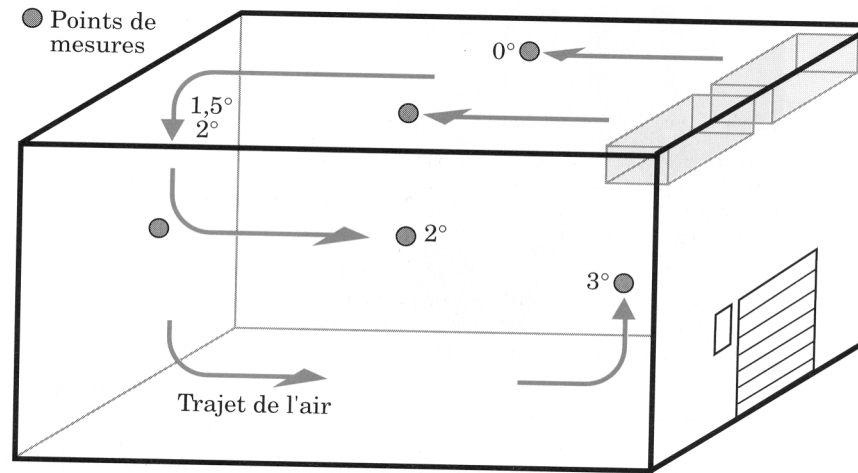
---



# Colocação dos sensores de temperatura

---

---



- **Mínimo**

- Um sensor à entrada dos evaporadores
- Um sensor à saída dos evaporadores