Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

TM-182 REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

Prof. Dr. Rudmar Serafim Matos

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

São conjuntos de câmaras frias, que permitem, refrigerar, congelar e conservar pelo frio, produtos perecíveis, além de toda Infra-estrutura (Casa de máquinas, subestação, serviços de administração, oficinas de manutenção, vestiários, sanitários, etc.) necessária, para seu funcionamento.

DADOS INICIAIS PARA DIMENSIONAMENTO

- ✓ clima
- ✓ água
- ✓ energia
- ✓ produto
- ✓ descrição da instalação
- ✓ condições do local
- ✓ informações adicionais

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

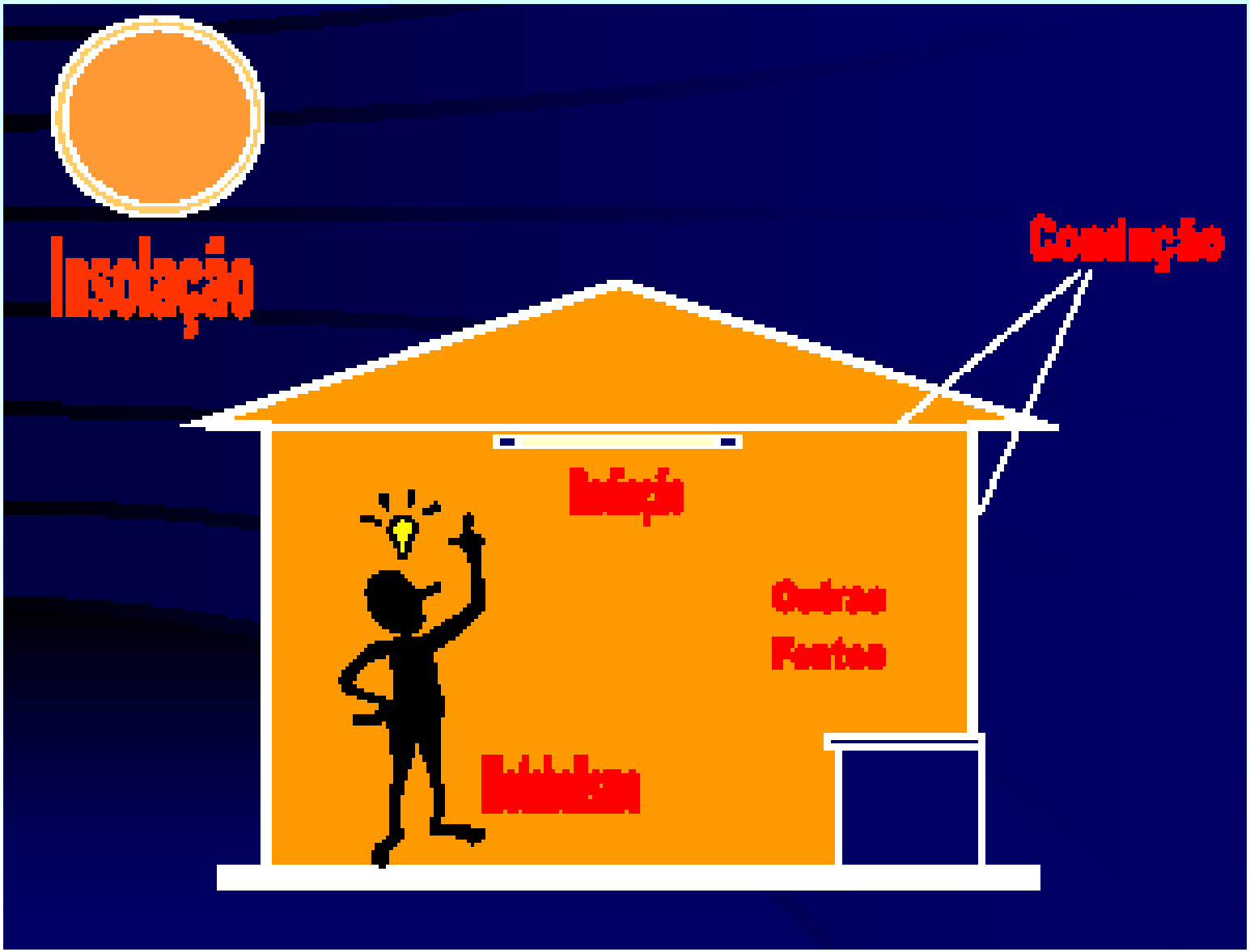
TIPOS DE CÂMARAS

- ✓ câmaras de armazenagem ou estocagem
- ✓ câmaras de resfriamento
- ✓ túneis de congelamento
- ✓ ante-câmaras
- ✓ câmaras comerciais
- ✓ câmaras domésticas
- ✓ outros tipos.

DIMENSÕES DAS CÂMARAS

PRODUTO	Quant. kg/m^3
Carne refrigerada pendurada (porco)	80
Carne refrigerada pendurada (peça grande)	100
Carne congelada com osso	250
Carne congelada sem osso	530
Sorvetes	180
Ovas em caixa/prateleira (4340)	260
Verduras	180-380
Doce	330
Frango	380
Ovos resfriados	400
Frutas em caixa	440
Massas	500
Manteiga	500
Congelados	540

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS



14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

Calor transmitido através das paredes

$$Q_1 = A\,U\,(t_e - t_i + \Delta t_{ins}) \times 24 \times 3{,}6$$

Calor devido à infiltração

$$Q_2 = V_i\,n\,(h_e - h_i)$$

Calor devido ao produto

a) Calor removido antes do congelamento

$$Q_{3a} = m_p\,c_1\,(t_p - t_c)$$

b) Calor latente de congelamento

$$Q_{3b} = m_p\,L$$

c) Calor removido após o congelamento

$$Q_{3c} = m_p\,c_2\,(t_c - t_i)$$

d) Calor de respiração

$$Q_{3r} = m_a\,R$$

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

Calor devido a embalagem

$$Q_{3e} = m_e \, c_e \, (t_p - t_i)$$

Calor cedido por pessoas

$$Q_4 = n \, q \, n_p$$

Calor cedido pela iluminação

$$Q_5 = P \, n_i \times 3{,}6$$

Calor cedido pelos motores

- **Motor trabalhando dentro da câmara frigorífica**

$$Q_6 = \frac{P \, n_m}{\eta} \times 3{,}6$$

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

14.3 EXEMPLO ILUSTRATIVO

EXEMPLO 14.3.1: **Calcular a carga térmica de uma câmara de frutas para maçãs (fig. 158) com seguintes dados iniciais:**

Situação: SANTOS.

Vias de acesso: Ferroviária, rodoviária e marítima.

Condições externas: t_{bs} = 33°C, t_{bu} = 27°C, ϕ = 65%

Condições internas: t_i = 0°C, ϕ = 85%

Finalidade:

- **Resfriamento de 60 ton/24h, de maçãs em caixas de madeira de 3 kg de 55x33x33 cm, contendo 21 kg de maçãs dentro.**
- **Armazenagem de 390 toneladas de maçãs em caixas.**

Altura máxima de empilhamento: 4m

Construção (fig. 158):

- **Piso: sobre terra.**
- **Teto: sob telhado.**
- **Face Leste: Há uma câmara de peixes congelados a – 20°C.**
- **Paredes de cor média.**

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

EXEMPLO 14.3.1:

Coeficientes totais de transmissão de calor:

- $U_{parede\ interna}$ = 0,428 W/m² °C
- $U_{parede\ externa}$ = 0,341 W/m² °C
- U_{teto} = 0,244 W/m² °C
- U_{piso} = (calcular)

Casa de máquinas: 2 m²/TR

Iluminação:

- Fluorescente especial para baixas temperaturas 5W/m² (acendimento 8h/24h)

Tempo de funcionamento diário dos equipamentos: 20h/24h

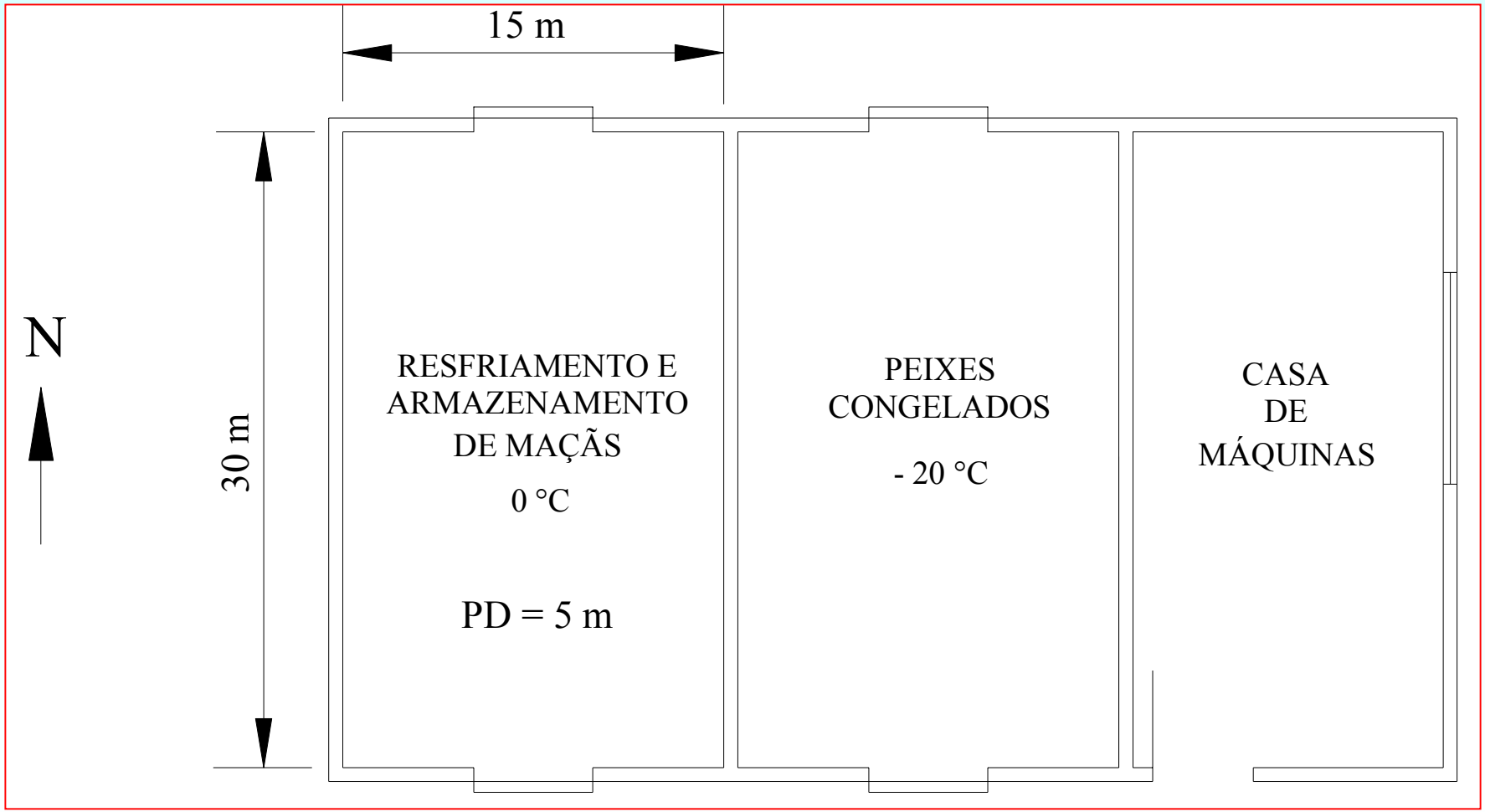
Pessoas: 2 pessoas trabalhando 8h/dia.

Motor da empilhadeira: 10 CV (7360 W), funcionamento de 2h/24h.

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

EXEMPLO 14.3.1:

PLANTA BAIXA DA INSTALAÇÃO



14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

EXEMPLO 14.3.1:

SOLUÇÃO

conhecendo-se:

α_i = 17,45 W/ m² °C

$k_{isolante}$ = 0,03373 W/m°C

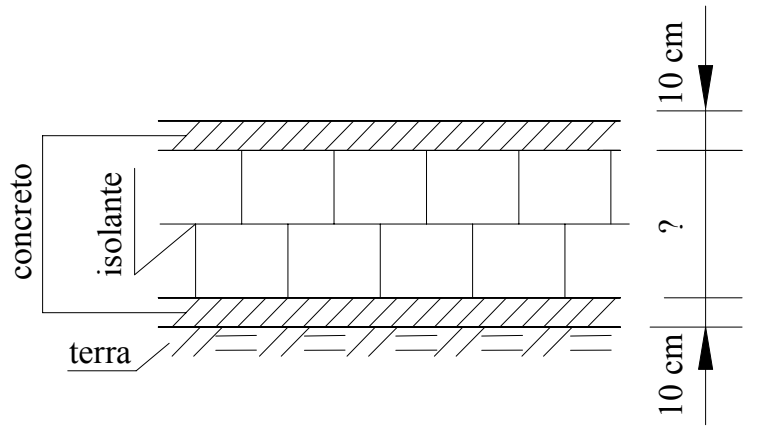
$k_{concreto}$ = 1,407 W/m°C

A) CÁLCULO DO ISOLAMENTO DO PISO:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{t_e - t_i + \Delta t_{ins}}{\sum R}$$

onde:

$$8{,}13 = \frac{(27 - (-0) + 0)}{\frac{0{,}1}{1{,}407} + \frac{e}{0{,}034} + \frac{0{,}1}{1{,}407} + \frac{1}{17{,}45}}$$



$$e = 0{,}105\ m$$

e = 2 camadas de 50 mm (comercial)

$$U_{piso} = \frac{1}{\frac{0{,}1}{1{,}407} + \frac{0{,}1}{0{,}034} + \frac{0{,}1}{1{,}407} + \frac{1}{17{,}45}} = 0{,}316\ \ W/m^2{}^oC$$

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

EXEMPLO 14.3.1:

SOLUÇÃO

B) CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA:

1) Calor transmitido através das paredes/piso/teto:

$$Q_1 = A\,U\,(t_e - t_i + \Delta t_{ins}) \times 24 \times 3{,}6$$

PAREDE	A (m^2)	U ($W/m^2\,^oC$)	$t_e - t_i + \Delta t_{ins}$ (^oC)	Q_1 (W)
N	15x5=75	0,341	33-0+3=36	920,70
S	15x5=75	0,341	33-0+0=33	843,98
L	30x5=150	0,428	(-20)-0+0=-20	-1284,00
O	30x5=150	0,341	33-0+3=36	1892,55
PISO	30x15=450	0,316	27-0+0=27	3839,40
TETO	30x15=450	0,244	33-0+3=36	4501,80
TOTAL				10714,43

$$Q_1 = 10714{,}43 \times 24 \times 3{,}6 = 925726{,}75\ \text{kJ/24h}$$

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

EXEMPLO 12.9.1:

SOLUÇÃO

B) CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA:

2) Calor devido à infiltração:

$$Q_2 = V_i \, n \, (h_e - h_i)$$

onde:

$$V = 30 \times 15 \times 5 = 2250 \, m^3$$

- Da tabela 14 com t_i= 0ºC e V = 2250 m^3 , n = 1,6 trocas/24h.
- Da tabela 15:
  - ✓ h_e = h (33ºC, 65%) = 97,765 kJ/m^3
  - ✓ h_i = h (0ºC, 85%) = 10,675 kJ/m^3

$$Q_2 = 2250 \times 1{,}6 \times (97{,}765 - 10{,}675) = 313524 \ \ kJ/24h$$

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

EXEMPLO 12.9.1:

SOLUÇÃO

B) CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA:

2) Calor devido ao produto:

Resfriamento do produto a partir da temperatura ambiente:

$$Q_{3a} = m_p \, c_1 \, (t_p - t_c)$$

onde:

$$m_p = 60000 \text{ kg/24h}$$

- **Da tabela 16, c_1= 3,6 kJ/kg°C.**

$$Q_{3a} = 60000 \times 3{,}6 \times (33 - 0) = 7128000 \text{ kJ/24h}$$

Respiração do produto:

$$Q_{3r} = m_a \, R$$

- **Da tabela 16, R = 1,0467 kJ/kg 24h.**

$$Q_{3r} = 390000 \times 1{,}0467 = 408213 \text{ kJ/24h}$$

EXEMPLO 12.9.1:

SOLUÇÃO

B) CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA:

3) Calor devido a embalagem:

$$Q_{3e} = m_e \, c_e \, (t_p - t_i)$$

onde:

- m_e = 8571 kg/24h e c_e= 2,8 kJ/kg°C .

$$Q_{3e} = 8571 \times 2{,}8 \times (33 - 0) = 791960{,}4 \text{ kJ/24h}$$

4) Calor cedido por pessoas

$$Q_4 = n \, q \, n_p$$

- Da tabela 17 com t_i= 0°C, q = 976,92 kJ/h.

$$Q_4 = 2 \times 976{,}92 \times 8 = 15630{,}72 \text{ kJ/24h}$$

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

EXEMPLO 12.9.1:

SOLUÇÃO

B) CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA:

5) Calor cedido pela iluminação:

$$Q_5 = P\, n_i \times 3{,}6$$

onde:

$$P = 450\ m^2 \times 5\ w/m^2 = 2250\ W$$

$$Q_5 = 2250 \times 8 \times 3{,}6 = 64800\ kJ/24h$$

6) Calor liberado pelos motores:

$$Q_6 = \frac{P\, n_m}{\eta} \times 3{,}6$$

$$Q_{empilhadeira} = \frac{7360 \times 2}{0{,}85} \times 3{,}6 = 62343{,}5\ kJ/24h$$

$$Q_{ventilador} = \frac{14010 \times 20}{0{,}85} \times 3{,}6 = 1186634{,}6\ kJ/24h$$

14. CARGA TÉRMICA EM INSTALAÇÕES FRIGORÍFICAS

EXEMPLO 12.9.1:

SOLUÇÃO

B) CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA:

7) Capacidade do equipamento:

- ✓ **Dimensionamos o equipamento para retirar o calor, que entra no sistema em 24 h, no entanto devido a necessidade de degelo este calor tem que ser retirado em apenas 20 h.**

$$\Sigma Q = 10896832{,}96\ kJ/24h$$

$$10896832{,}96\ kJ/20h = 544841{,}65\ kJ/h = 151{,}33\ kJ/s$$

$$151{,}33\ kJ/s = 43\ TR + 10\% \cong 45\ TR$$