

## Resolução exercício 2 de cargas térmicas.

Conforme informado em sala os detalhes ausentes no enunciado dos demais exercícios, deveria ser extraído do exercício número 1, logo temos o seguinte enunciado modificado para o exercício 2:

2- Armazenagem de frutas e verduras. Temperatura de entrada do produto de 32 °C. Movimento diário de 960 kg.

- Assumir uma taxa de iluminação de 10 W/m<sup>2</sup> (mínimo de 100W);
- pessoas = 1 pessoa durante 2 horas dentro da câmara;
- cidade de Florianópolis – São José.
- Escolher uma das três dimensões para a câmara: 5,00 x 2,00 x 2,50 ou 4,00 x 3,00 x 2,50 ou 5,00 x 3,00 x 2,50m.

Em primeiro lugar é preciso lembrar quais as parcelas de carga térmica deverão ser calculadas neste caso para então procurarmos as variáveis ausentes no enunciado.

- Penetração;
- Infiltração;
- Produto;
- Iluminação;
- Pessoas;
- Motores internos;

Em relação a penetração, utilizaremos a seguinte fórmula:

$$Q_1 = \frac{k \times A \times \Delta T}{L}$$

Atualmente não possuímos nenhuma das variáveis, por isso realizamos o levantamento das mesmas através das tabelas. A primeira tabela a ser utilizada é a seguinte:

### VALORES PRÁTICOS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA PARA CÂMARAS FRIGORÍFICAS (fonte: catálogo de produtos McQuay)

	CARNES	LATICÍ- CÍNIOS	VERDU- RAS	CONGE- LADOS	OVOS	FRUTAS	LIXO	PEIXES COM GELO	FRANGO
TEMP. DE ENTRADA DO PRODUTO (°C)	+ 15	+15	+ 30	- 10	+ 30	+ 30	+ 30	+ 10	+ 15
TEMP. INTERNA DA CÂMARA (°C)	- 1	+ 2	+ 4	- 18	0	+ 4	+ 2	+ 1	+ 1
ESPESSURA DO ISOLANTE (pol)	4	4	4	6	4	4	4	4	4
	[EPS]	[EPS]	[EPS]	[PUR]	[EPS]	[EPS]	[EPS]	[EPS]	[EPS]
calor específico (kcal/kg °C)	0,77	0,85	0,92	0,41	0,73	0,92	0,80	0,76	0,79
Movimentação diária em kg/m <sup>3</sup> de área de piso	100	100	80	100	--	80	100	80	80
calor de respiração (kcal/ton.)em 24h	--	--	500	--	--	500	--	--	--

Desta tabela podemos retirar da coluna referente as verduras (e frutas, uma vez que todos os valores são iguais) alguns dados, dentre eles:

Temperatura interna da câmara (em que o produto será armazenado) = 4°C;

Espessura do isolante (L na equação) = 4pol para metros 0,1016m;

Tipo de isolante = EPS (poliestireno) que nos dá o valor de k, tabelado como sendo 0,029W/m°C;

Movimentação diária em kg/m<sup>2</sup> de área de piso = Podemos utilizar este dado para calcular o tamanho mínimo do piso da câmara e então selecionar a câmara correta na relação dado pelo enunciado, para isso:

$$Tamanho\ do\ piso = \frac{Movimento\ diário}{Movi.\ diária\ em\ kg/m^2\ de\ área\ de\ piso} = \frac{960}{80} = 12m^2$$

Logo a área mínima de piso é de 12m<sup>2</sup>. Se calcularmos a área de piso das câmaras propostas vemos que:

$$A_{piso1} = A \times C = 5 \times 2 = 10m^2$$

$$A_{piso2} = A \times C = 4 \times 3 = 12m^2$$

$$A_{piso3} = A \times C = 5 \times 3 = 15m^2$$

As áreas de piso 2 e 3 atendem o requisito mas a área de piso 2 é mais adequada por estar mais próxima, portanto a câmara a ser utilizada tem as dimensões (4x3x2,5)m.

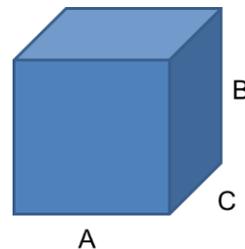
Com estas dimensões podemos calcular a área de superfície da câmara frigorífica. Como não há insolação em nenhuma das paredes não há necessidade de calcular a influência desta e a área de todas as paredes podem ser somadas:

Cálculo de área para câmaras regulares:

Paredes = 2 x ( A x B );

Paredes = 2 x ( C x B );

Piso + Teto = 2 x ( A x C );



$$A_{paredes1} = 2 \times (A \times B) = 2(4 \times 2,5) = 20m^2$$

$$A_{paredes2} = 2 \times (C \times B) = 2(3 \times 2,5) = 15m^2$$

$$A_{tetp+piso} = 2 \times (A \times C) = 2(4 \times 3) = 24m^2$$

$$A_{total} = A_{paredes1} + A_{paredes2} + A_{tetp+piso} = 20 + 15 + 24 = 59m^2$$

Falta ainda calcular a diferença de temperatura, para isso precisamos saber qual a condição do ar externo, esse dado pode ser extraído da tabela a seguir:

Dados de algumas localidades (NB-10)

Cidade	TBS	TBU
Fpolis	32	60% UR
Curitiba	30	23,5
Londrina	31	23,5
P. Alegre	34	26,0
Sta. Maria	35	25,5
Rio Grande	30	24,5
Pelotas	32	25,5
Caxias do Sul	29	22,0
Blumenau	32	26,0

Onde já na primeira linha, temos a cidade de Florianópolis, mencionada no exercício para a qual consideramos a umidade relativa como sendo 60% e a respectiva temperatura de bulbo seco como 32°C.

Portanto:

$$\Delta T = T_{externa} - T_{interna} = 32 - 4 = 28^{\circ}\text{C}$$

Agora temos todas as variáveis para calcular a penetração de calor na câmara através das paredes:

$$Q_1 = \frac{k \times A \times \Delta T}{L} = \frac{0,029 \times 59 \times 28}{0,1016} = 471,53W$$

O valor calculado está em Watts pois o coeficiente de condutibilidade térmica do material k, foi dado em W/m°C. Como toda a carga térmica é calculada para kcal precisamos converter este valor para kcal/h.

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \longrightarrow 1,164W$$

$$X \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \longrightarrow 471,53W$$

$$X \times 1,164 = 1 \times 471,53$$

$$X \times 1,164 = 471,53$$

$$X = \frac{471,53}{1,164} = 405,10 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Verificamos que o resultado está dependendo de um tempo, precisamos portanto especificar que será calculado para 24h portanto:

$$Q_1 = 405,10 \times 24 = 9722,38\text{kcal}$$

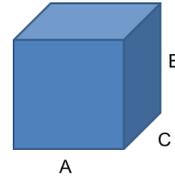
A parcela de penetração foi determinada como sendo 9722,38kcal.

Agora para realizar o cálculo da infiltração utilizamos a fórmula a seguir:

$$Q_2 = n \times V_{\text{câmara}} \times q_{\text{removido}}$$

Nesta equação a única grandeza que podemos calcular é o volume da câmara as demais são tabeladas:

$$V_{\text{câmara}} = A \times B \times C = 4 \times 3 \times 2,5 = 30m^3$$



O valor de n pode ser encontrado na seguinte tabela;

VALORES DE  
(n) - número de renovações do ar da câmara

V câmara (m <sup>3</sup> )	n	
	Ti < 0	Ti > 0
15	19,6	25,3
20	16,9	21,2
30	13,5	16,7
50	10,2	12,8
75	8,0	10,1
100	6,7	8,7
150	5,4	7,0

Sendo que Ti (temperatura interna) é superior a 0°C (igual a 4°C), encontramos n como sendo 16,7 trocas de ar por dia.

Para encontrarmos o valor de q precisamos da tabela a seguir:

**MÉTODO ALTERNATIVO - CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA DE INFILTRAÇÃO**

**TABELA 7a-** Quilocalorias por m<sup>3</sup> removido no resfriamento do ar para as condições de condicionamento (Ti > 0)

Temp. interna °C	Temperatura do ar entrando (°C)									
	25			30			35		40	
	UR %									
	50	60	70	50	60	70	50	60	50	60
15	3.05	4.44	5.87	5.71	8.52	10.5	11.9	13.4	15.8	18.9
10	6.35	7.71	9.12	7.61	11.7	13.7	14.1	16.5	16.9	23.7
5	8.26	10.6	12.0	12.8	14.5	16.5	16.9	19.3	21.6	24.7
0	11.7	13.1	14.4	15.2	17.0	18.9	19.3	21.7	23.9	27.2

**TABELA 7b -** Quilocalorias por m<sup>3</sup> removido no resfriamento do ar para as condições de condicionamento (Ti < 0)

Temp. interna °C	Temperatura do ar entrando (°C)									
	5		10		25		30		35	
	UR %									
	70	80	70	80	50	60	50	60	50	60
0	2.19	2.65	3.39	3.67	12.0	13.4	15.5	17.3	19.6	22.0
-5	4.61	5.01	5.61	5.89	14.1	15.5	17.5	19.3	21.5	23.9
-10	6.47	6.87	7.37	7.66	15.8	17.1	19.2	20.9	23.1	25.5
-15	8.35	8.76	9.14	9.42	17.5	18.8	20.8	22.5	24.7	27.1
-20	10.2	10.6	10.9	11.2	19.1	20.5	22.4	24.2	26.6	28.7
-25	11.9	12.5	12.6	12.8	20.6	22.0	23.8	25.7	27.8	30.2
-30	13.6	14.0	14.1	14.4	22.2	23.5	25.4	27.1	29.2	31.6
-35	15.3	15.7	15.8	15.9	23.6	24.9	26.9	28.5	30.6	32.0
-40	16.9	17.3	17.4	17.5	25.0	26.4	28.3	29.9	32.0	34.3

Sendo que novamente devemos considerar a temperatura interna como sendo maior do que 0°C iremos nos concentrar na 7a e cruzar os dados da seguinte forma:

**TABELA 7a- Quilocalorias por m<sup>3</sup> removido no resfriamento do ar para as condições de condicionamento (Ti > 0)**

Temp. interna °C	Temperatura do ar entrando (°C)									
	25			30			35		40	
	UR %									
	50	60	70	50	60	70	50	60	50	60
15	3.05	4.44	5.87	5.71	8.52	10.5	11.9	13.4	15.8	18.9
10	6.35	7.71	9.12	7.61	11.7	13.7	14.1	16.5	16.9	23.7
5	8.26	10.6	12.0	12.8	14.5	16.5	16.9	19.3	21.6	24.7
0	11.7	13.1	14.4	15.2	17.0	18.9	19.3	21.7	23.9	27.2

Utilizamos o retângulo vermelho para selecionar a temperatura de entrada do ar, 32°C como não há esta temperatura utilizamos o caso imediatamente pior 35 °C. Em verde selecionamos a umidade relativa, 60%. Portanto sabemos que o “q” a ser utilizado está na coluna em verde dentro do retângulo vermelho. Para escolher o valor, cruzamos com a temperatura interna da câmara, neste caso foi utilizado 5°C por estar muito próximo dos 4°C especificados, em outros casos utilizaríamos o pior caso mais próximo (0°C). Portanto para os dados deste problema devemos selecionar q=19,3 kcal/m<sup>3</sup>.

Inserindo na equação os dados encontrados:

$$Q_2 = n \times V_{câmara} \times q_{removido} = 16,7 \times 30 \times 19,3 = 9669,30kcal$$

Neste caso o resultado já é em kcal, não necessitando realizar outras conversões ou multiplicações.

A próxima parcela a ser calculada é referente ao próprio produto, no caso exposto no enunciado temos apenas refrigeração, não há menção a congelamento e a temperatura de 4°C não possibilitaria este efeito, logo consideramos apenas o calor sensível:

$$Q_3 = m \times c \times \Delta T$$

Podemos encontrar c na primeira tabela utilizada, na linha calor específico como sendo 0,92 kcal/kg°C

**VALORES PRÁTICOS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA PARA CÂMARAS FRIGORÍFICAS (fonte: catálogo de produtos McQuay)**

	CARNES	LATICÍ- CÍNIOS	VERDU- RAS	CONGE- LADOS	OVOS	FRUTAS	LIXO	PEIXES COM GELO	FRANGO
TEMP. DE ENTRADA DO PRODUTO (°C)	+ 15	+15	+ 30	- 10	+ 30	+ 30	+ 30	+ 10	+ 15
TEMP. INTERNA DA CÂMARA (°C)	- 1	+ 2	+ 4	- 18	0	+ 4	+ 2	+ 1	+ 1
ESPESSURA DO ISOLANTE (pol)	+ 2	+ 4	+ 6	-20	+ 6	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2
	4 [EPS]	4 [EPS]	4 [EPS]	6 [PUR]	4 [EPS]	4 [EPS]	4 [EPS]	4 [EPS]	4 [EPS]
calor específico (kcal/kg °C)	0,77	0,85	0,92	0,41	0,73	0,92	0,80	0,76	0,79
Movimentação diária em kg/m <sup>2</sup> de área de piso	100	100	80	100	--	80	100	80	80
calor de respiração (kcal/ton.)em 24h	--	--	500	--	--	500	--	--	--

Em relação a diferença de temperatura sofrida pelo produto, o enunciado diz que o produto entra a 32°C (é importante mencionar que nem sempre esta diferença de temperatura é igual a diferença entre os ambiente externo e interno, em alguns casos o material entra a temperatura diferente da do ar externo), sendo assim, NESTE caso, a diferença sofrida pelo produto é igual a diferença entre o ambiente externo e interno. Logo:

$$Q_3 = m \times c \times \Delta T = 960 \times 0,92 \times 28 = 24729,60kcal$$

Novamente, o resultado já está em kcal não exigindo nenhum trabalho adicional.

Precisamos agora calcular a parcela referente a iluminação:

O problema nos diz que a potência de iluminação é de 10W/m<sup>2</sup>, esta é a potencia por área a ser iluminada (chão), como calculamos anteriormente a área do chão é de 12m<sup>2</sup> logo:

$$P_{iluminação} = 10 \times A_{chão} = 10 \times 12 = 120W$$

Esta potência está em Watts, temos de converter para kcal:

$$\frac{120}{1,160} = 103,45 \frac{kcal}{h}$$

Pela equação do cálculo de carga de iluminação:

$$Q_4 = P_{iluminação} \times t = 103,45 \times 2 = 206,90kcal$$

Novamente resultado final em kcal não precisa maiores tratamentos.

Para o cálculo de calor gerado pelas pessoas na câmara utilizamos:

$$Q_5 = p \times t \times q_{metabolismo}$$

O número de pessoas e o tempo de permanência podem ser retirados do exercício, enquanto o calor do metabolismo precisa ser retirado da tabela a seguir:

Calor de ocupação - pessoas dentro da câmara

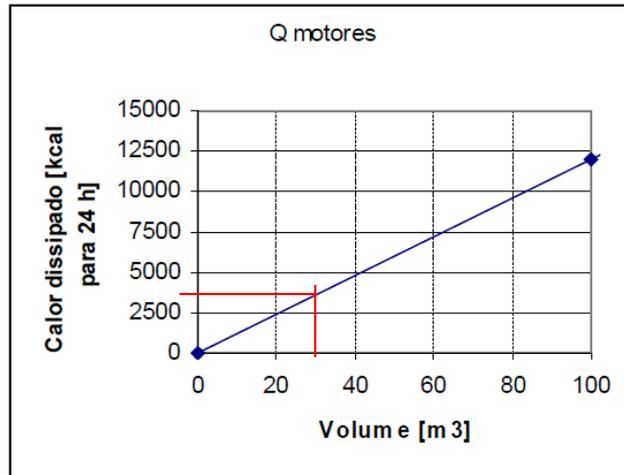
Temperatura interna da câmara [°C]	calor dissipado [kcal/h]
+ 10	180
+ 5	210
0	235
- 5	260
-10	285
- 15	310
- 20	340
- 25	365

Novamente utilizaremos a temperatura de 5°C por ser próxima da temperatura da câmara, sendo então o calor do metabolismo igual a 210kcal/h. O cálculo então fica:

$$Q_5 = p \times t \times q_{\text{metabolismo}} = 1 \times 2 \times 210 = 420kcal$$

Resultado final em kcal sem maiores tratamentos.

No caso dos motores como ainda não foi determinado o motor a ser utilizado não podemos calcular através da potência deste, portanto utilizamos o método do gráfico:



O método do gráfico é visual e portanto possibilita grande diferença entre leitores. Neste caso, temos a metade entre duas escalas em x, teremos a metade entre duas escalas em y.

$$Q_6 = \frac{5000 + 2500}{2} = 3750kcal$$

Por último temos que considerar que uma vez que temos frutas e verduras refrigeradas teremos o metabolismo destas também, este sempre deverá ser considerado como sendo 500kcal/ton logo:

$$500kcal \longrightarrow 1000kg$$

$$Q_7kcal \longrightarrow 960kg$$

$$Q_7 \times 1000 = 500 \times 960$$

$$Q_7 \times 1000 = 480000$$

$$Q_7 = \frac{480000}{1000} = 480kcal$$

Para sabermos o  $Q_{total}$  devemos somar todas as parcelas:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

$$Q_t = 9722,38 + 9669,3 + 24729,6 + 206,9 + 420 + 3750 + 480 = 48979,18kcal$$

Este é o calor que deve ser removido da câmara em 24h para que o produto chegue as condições de armazenamento e permaneça desta forma.

Normalmente o motor não permanece ligado durante 24h, portanto para que possamos saber a potência de refrigeração não é possível apenas dividir este valor por 24h, é preciso dividir pelo tempo que a máquina ficará ligada.

Para degelo natural (temperaturas acima de 0°C) podemos usar 16h, para degelo artificial usamos entre 18h a 20h dependendo do temperatura interna.

$$P_{refrigeração} = \frac{Q_t}{\text{Número de horas ligada}} = \frac{48979,18}{16} = 3061,14 \frac{kcal}{h}$$

Ou 12147,58 BTU/h ou 1,01TR

Este é o resultado final. É importante lembrarmos que no caso do produto, se for congelamento, temos 3 etapas; calor sensível, latente e sensível novamente, sendo que os calores específicos do material congelado e refrigerado são diferentes.

Também é preciso lembra que caso o problema determine em quantas horas o produto deverá atingir a condição de armazenamento, precisamos corrigir a carga térmica referente ao produto. A carga que calculamos é a necessária para que o produto chegue a condição desejada. Como não há tempo associado utilizamos 24h o que quer dizer que o produto chegará a temperatura desejada em 24h após entrar a câmara, no entanto, em alguns casos precisa-se que isso seja feito em menos tempo, por exemplo 4h, neste caso utilizamos o seguinte cálculo;

$$Q_{corrigido} = \frac{Q_{calculado} \times 24}{\text{tempo desejado}} = \frac{Q_{calculado} \times 24}{4}$$

Neste caso a parcela a ser considerada para o produto deverá ser 6x maior do que a calculada para que na potência final tenhamos uma máquina capaz de realizar a refrigeração no tempo desejado.