

## DIMENSIONAMENTO DE CÂMARA DE RESFRIAMENTO<sup>1</sup>

Ahmad Ali Fares<sup>2</sup>

Willian Guilherme Simon<sup>3</sup>

Lidiane de Col<sup>4</sup>

Keila Daiane Ferrari Orso<sup>5</sup>

Elaine Cristina de Sousa Neves Serpa<sup>6</sup>

### RESUMO

Hoje, boa parte dos alimentos passam ou necessitam passar por tratamentos térmicos para que possam permanecer mais tempo em condições de consumo. O resfriamento é amplamente utilizado, em vários setores da indústria alimentícia, justamente por ser um tratamento ideal contra vários tipos de problemas que possam ocorrer durante o processo, principalmente uma contaminação bacteriana, pois, baixas temperaturas podem conter a proliferação microbiana. Para que tal tratamento seja eficiente é necessário que as câmaras frigoríficas sejam bem dimensionadas, possibilitando assim, um maior tempo de vida para o produto. Por meio de uma pesquisa bibliográfica, puramente teórica, uma análise quantitativa e utilizando o conceito de modelagem matemática, este artigo busca mostrar as interferências no projeto quando se alteram características no dimensionamento da câmara de refrigeração.

**Palavras-chave:** Dimensionamento. Refrigeração. Modelagem Matemática.

### 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, por uma questão de sobrevivência, o homem busca métodos de armazenar e preservar seus alimentos. A revolução industrial, em 1790, deu início a uma nova era de descobertas, possibilitando crescimento exponencial da população e do consumo de alimentos (NARLOCH, 2013). Neste momento e, nos anos seguintes, a busca por melhores meios de conservação passou a ser imprescindível.

Anos mais tarde, a ciência, se desenvolveu a ponto de fornecer equipamentos que permitiam uma maior durabilidade dos alimentos. O primeiro refrigerador foi construído por James Harrison, em 1859, para a utilização na área de bebidas e do resfriamento de carnes para exportação, (SOUZA et al, 2001).

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado na disciplina de Modelagem Matemática.

<sup>2</sup> UCEFF Faculdades. Acadêmico do curso de Engenharia Química.

<sup>3</sup> UCEFF Faculdades. Acadêmico do curso de Engenharia Química.

<sup>4</sup> UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Química. E-mail: lidiane@uceff.edu.br.

<sup>5</sup> UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Química. E-mail: keila@uceff.edu.br.

<sup>6</sup> UCEFF Faculdades. Orientador do curso de Engenharia Química. E-mail: elaine@uceff.edu.br.

No mundo industrializado em que nos situamos, os alimentos acabam passando por vários processos até chegarem ao consumidor final. Entre os processos está o de refrigeração ou o processo de congelamento. O resfriamento e o congelamento tem como objetivo retardar da atividade microbiana nos alimentos elevando assim o tempo de vida do alimento, para futuro consumo, (CARVALHO, 2010).

Dentro de uma indústria a responsabilidade do resfriamento ou do congelamento fica a cargo de uma grande geladeira chamada câmara frigorífica. A refrigeração pode ser definida como um processo qualquer de remoção de calor. É o ramo da ciência que trata dos processos de redução e conservação de temperatura de um espaço ou material, (ROSA, 2000).

Porém, quando as câmaras frigoríficas não passam por um processo adequado de estruturação e dimensionamento podem causar falhas no processo comprometendo o produto. Para garantir a qualidade do projeto deve-se considerar vários elementos como, dimensão temperatura, finalidade características do produto a ser armazenado, características internas e externas da câmara, (OLIVEIRA; PAIVA, 2016).

Diante do exposto, questiona-se: **Como dimensionar uma câmara de resfriamento de alimentos?** Este artigo tem como objetivo demonstrar os cálculos necessários para a construção de câmaras frigoríficas e como sua utilização interfere diretamente na conservação dos produtos a serem armazenados na câmara, visando um bom desempenho e eficiência no resfriamento o congelamento de produtos perecíveis.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse artigo está pautado na modelagem matemática, os quais são a base teórica da análise de dados.

### 2.1 MODELAGEM MATEMÁTICA

Quando um *chef* de cozinha cria suas receitas ele necessita testar várias vezes os produtos ou alimentos, utilizando-se de diversos ingrediente e de diferentes combinações. Quando esse *chef* finalmente chega ao prato desejado, se diz então, que ele criou um modelo. Suponha então que o *chef* utilize o modelo e altere certos ingredientes a fim de obter novos sabores, ele então aprimorou ou realizou uma nova modelagem. Em termos gerais, o modelo é o resultado ou produto da atividade de sua construção, a modelagem, (BUENO, 2011).

Deste modo, percebe-se que a modelagem matemática surge para que se possa tornar a matemática mais próxima das atividades cotidianas. Um modelo matemático serve para que a teoria se aproxime ainda mais da prática. “Essas práticas vão desde a utilização e/ou recriação de modelos já existentes, à criação de novos modelos.” (BRAGANÇA, 2009 p.35)

Assim, para Silva (2014, p.19), percebe que:

O que se percebe neste momento é que um modelo matemático não consiste somente em uma fórmula ou equação que inter-relacione diversos parâmetros que representam dados da realidade, compilados através de uma observação sistemática, seguindo padrões e normas científicas. Dessa forma, um esboço gráfico, uma maquete, um desenho, dentro de um contexto matemático, podem representar modelos que auxiliem na solução de situações problemas de matemática.

## 2.2 TERMODINÂMICA

Os cálculos utilizados para o dimensionamento são baseados nos princípios termodinâmicos. Segundo Fernandes et al, (2006, p.2):

A termodinâmica é o estudo das mudanças nas condições (estado) das substâncias puras ou de misturas a partir de alterações em sua temperatura, pressão e estado de agregação. Ela estabelece, também, os princípios fundamentais para a compreensão dos processos pelos quais as misturas podem ser separadas ou reagir entre si para a geração de calor e trabalho.

## 2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR (Q1)

### 2.3.1 Carga de calor através das paredes

As cargas térmicas dependem da energia que flui entre os corpos devido a diferença de temperatura. O fluxo de calor pode ser calculado pelas seguintes equações:

$$qx = \frac{\Delta T}{R} \qquad R = \frac{L}{K * A}$$

(1.0)

(1.1)

Onde:

L- Espessura (m)

K- Coeficiente de condutividade térmica em Kcal/m\*°K (tabela1)

– Fator de conversão: 1W – 0,86 Kcal A- Área (m<sup>2</sup>)  
 $\Delta T$ - (temperatura externa – temperatura interna) (K)

R- Resistência Térmica

qx – fluxo de calor por metro quadrado

Para entender o material e sua condutividade térmica, a Tabala 1, mostra os diferentes tipos de materiais.

**Tabela 1 – Material X condutividade térmica**

Material	Condutividade Térmica (W/m.K)
Espuma de Poliuretano	0,023-0,026
Poliestireno Expandido	0,037
Cortiça	0,043
Fibra de Vidro	0,044
Concreto	0,94
Tijolo	0,72

Fonte: Adaptado de Olivera (2018).

A partir da Tabela 1, busca-se demonstrar a fórmula da condutividade de calor. Q1 é calor que flui através das paredes da câmara devido a diferença de temperatura.

$$Q1 = A * qx \quad (1.2)$$

#### 2.4 INFILTRAÇÃO DE CALOR (Q2)

A infiltração de calor ocorre toda vez que alguma porta da câmara é aberta durante o processo. A troca ocorre quando o ar externo mais quente entra na câmara exigindo uma troca de calor mais intensa aumentando a carga térmica total. É possível reduzir a troca de calor utilizando cortinas verticais ou portas do tipo impacto, (RIJO, 2017).

O cálculo para determinar a infiltração de calor é a seguinte:

$$Q2 = V * N * \alpha \quad (2.0)$$

Onde:

V – Volume total da câmara ( $m^3$ )

N – Número de infiltrações de ar externo (tabela 2)

$\alpha$  – Ganho de energia por metro cúbico de câmara

### 2.4.1 Calor dos produtos (q3)

Quando um produto é submetido a uma temperatura inferior à sua, respeitando os princípios termodinâmicos, ele deverá ceder calor ao ambiente. Este calor por sua vez deve ser considerado pois influencia nas trocas térmicas no interior da câmara.

Os cálculos envolvendo os produtos a serem armazenados podem ser divididos, segundo Macagnam (2015) apud Ashrae (2002), em quatro situações.

#### 2.4.1.1 Calor removido para resfriamento acima do ponto de congelamento

$$Q_{3.1} = m * C_1 * \Delta T$$

(3.1)

Onde:

m – Massa do produto (Kg)

C<sub>1</sub> – Calor específico (Tabela 4 a, b, c, d ou e)

$\Delta T$  – (temperatura do produto – temperatura da câmara) (°C)

#### 2.4.1.2 Calor Removido Até A Temperatura De Congelamento

$$Q_{3.2} = m * C_1 * \Delta T$$

(3.2)

Onde:

m – Massa do produto (Kg)

C<sub>1</sub> – Calor específico (Tabela 4 a, b, c, d ou e)

$\Delta T$  – (temperatura do produto – temperatura de congelamento)

2.4.1.3 Calor removido para congelar o produto

$$Q_{3.3} = m * h_c$$

(3.3)

Onde:

m – Massa do produto (Kg)

$h_c$  – Calor latente da solidificação (Tabela 4 a, b, c, d ou e)

2.4.1.1 Calor removido para temperatura abaixo do congelamento

$$Q_{3.4} = m * C_2 * \Delta T$$

(3.4)

Onde:

m – Massa do produto (Kg)

$C_2$  – Calor específico abaixo do ponto de congelamento (Tabela 4 a, b, c, d ou e)

$\Delta T$  – (temperatura de congelamento – temperatura final abaixo do congelamento) (°C)

## 2.4.2 Carga térmica total do produto

O calor total que terá de ser removido do produto para que ele entre em equilíbrio com a câmara será:

$$Q_t = (Q_{3.1} \text{ ou } Q_{3.2}) + Q_{3.3} + Q_{3.4}$$

(4.0)

## 2.4.3 Carga de ocupação (q4)

As pessoas envolvidas no processo de armazenamento também produzem calor que deve ser considerado.

$$Q_4 = N_p * \beta * t_p$$

(5.0)

Onde:

$N_p$  – Número de pessoas

$\beta$  – Calor equivalente por pessoa (tabela 5)

$t_p$  – Tempo de permanência na câmara (h)

#### 2.4.4 Carga de iluminação (q5)

$$Q5 = P \times 860 \text{ (kcal/h)} \times \text{Tempo de utilização}$$

Onde:

Q5 = Quantidade de calor devido a iluminação

P = Potência (KW)

860 kcal/h = Fator de conversão KW/kcal

#### 2.4.5 Carga devido aos motores (q6)

$$Q6 = Pm * tu$$

(7.0)

Onde:

Pm = Potência do motor em Kcal/h tu = Tempo de Utilização (h)

#### 2.4.6 Carga de embalagem (q7)

Quando a embalagem do produto representa 10% ou mais do peso bruto total considera-se que exista uma resistência e por consequência uma troca de calor entre produto, embalagem e ambiente. A Equação para o cálculo de carga térmica é dada por:

$$Q7 = m * C3 * \Delta T$$

(8.0)

Onde:

m – Massa do produto (Kg)

C3 – Calor específico da embalagem

$\Delta T$  – (temperatura do produto – temperatura da câmara) (°C)

#### 2.4.7 Carga térmica total

O calor total que terá de ser removido da câmara para que esta permaneça em uma determinada temperatura é dada pela soma de todas as cargas até aqui calculadas.

$$QT = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7 \quad (9.0)$$

### 3 METODOLOGIA

O processo de construção também por uma extensa pesquisa bibliográfica, no qual os dados buscados já haviam sido registrados, buscou-se então um comparativo do material existente com o material coletado. Segundo Prodanov e Freitas (2013, p.54):

Pesquisa bibliográfica: quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa.”

Vianello apud Rudio (2007) expõe que o método deve ser utilizado como guia para o estudo de um determinado problema, constituindo-se em um caminho a ser trilhado, na elaboração organizada de procedimentos de orientação ao pesquisador.

Sendo a parte quantitativa definida por Silveira e Gerhardt apud Fonseca (2009, p. 33):

A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão baseados na criação de um modelo hipotético de câmara de resfriamento, na qual, as dimensões e características serão alteradas para a obtenção de uma diferença de cargas entre os modelos.

A diferença de carga permitirá uma análise percentual que deverá mostrar o quão significativo é a mudança de uma ou mais características da câmara e seus componentes.

#### 4.1 CRIAÇÃO DE UM MODELO

##### **Dados preliminares:**

- Temperatura externa: 32°C

- Temperatura interna: 0°C
- Umidade relativa: 50%
- Dimensões internas: larg. 5m; comp. 3m; alt. 2m
- Material da câmara: painel pré-fabricado,
- Isolamento: poliuretano
- Painel 150mm
- Produto: carne de Aves frescas
- Massa do produto: 3 Kg
- Embalagem: plástico
- Movimentação diária: 400 kg/24h
- Ocupação Total: 2.300 kg
- Potência do motor: 1.500 W
- Temperatura de entrada do produto: 15°C
- Número de pessoas: 3 permanecendo 4 horas

#### 4.1.1 Transmissão de Calor (Q1)

$$qx = \frac{\Delta T}{R} \quad R = \frac{L}{K * A}$$

Calculando qx: 286,61 Kcal/m<sup>2</sup>

Piso: 3 x 5 x 286,61 = 4.299,15 kcal/24h

Parede: 2 x (5 x 2) x 286,61 = 5.732,2 kcal/24h

Parede: 2 x (3 x 2) x 286,61 = 3.439,32 kcal/24h

Teto: 3 x 5 x 286,61 = 4.299,15 kcal/24h Q1 = 17.769,82 kcal/24h

#### 4.1.2 Infiltração de Calor (Q2)

$$Q2 = V * N * \alpha$$

$$V: 3 \times 2 \times 5 = 30 \text{ m}^3$$

$$N: 17 \text{ trocas de ar em 24 horas } \alpha = 19,28 \text{ Kcal/24h} \cdot \text{m}^3$$

$$Q2 = 9.832,8 \text{ Kcal/24h}$$

#### 4.1.3 Calor do Produto (Q3)

Considerando apenas o ponto de resfriamento:

$$Q3.1 = m * C1 * \Delta T$$

$$m = 3 \text{ kg (multiplicar pela quantidade dentro da câmara)} \quad C1 = 0,79 \text{ Kcal/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q3.1 = 34,2 \text{ Kcal/24h}$$

#### 4.1.4 Carga de Ocupação (Q4)

$$Q4 = Np * \beta * tp$$

$$Np = 3$$

$$\beta = 233 \text{ Kcal/h por pessoa} \quad tp = 4 \text{ horas}$$

$$Q4 = 2.796 \text{ Kcal/24h}$$

#### 4.1.5 Carga de Iluminação (Q5)

$$P = 10 \text{ W}$$

$$860 = \text{fator de conversão de KW para Kcal} \quad \# \text{ de W para Kcal usar } 0,86$$

$$tu = 3 \text{ horas}$$

$$Q5 = 25,8 \text{ Kcal/24h}$$

#### 4.1.6 Carga Devido aos Motores (Q6)

$$Q6 = Pm * tu$$

$$Pm = 1.500 \text{ W} = 1.289,77 \text{ Kcal/h}$$

$$tu = 3 \text{ horas}$$

$$Q6 = 3.869,31 \text{ kcal/24h}$$

#### 4.1.7 Carga de Embalagem (Q7)

$$Q7 = m * C3 * \Delta T$$

$$m = 3 \text{ kg}$$

$$C3 = 0,4 \text{ kcal/Kg}^{\circ}\text{C} \quad \Delta T = 15$$

$$Q7 = 18 \text{ Kcal/24h}$$

#### 4.1.8 Carga Térmica Total (QT)

$$QT = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7$$

$$QT = 34.345,93 \text{ Kcal/24h}$$

Esta soma determina a quantidade de calor que deverá ser retirado diariamente da câmara frigorífica. Porém, considerando o fator de segurança de funcionamento da câmara temos o seguinte ajuste.

Fator de segurança = 10%

$$QT = 34.345,93 \times 1,10 = 37.780,523 \text{ Kcal/24h}$$

## 4.2 ALTERANDO DIMENSÕES

Utilizando -se do exemplo anterior (4.1), alterou-se as dimensões das paredes. teto e piso em  $1\text{m}^2$ . A troca de calor devido a diferença de temperatura externa e interna (Q1) se dá por:

$$qx = \frac{\Delta T}{R} \quad R = \frac{L}{K * A}$$

Calculando qx:  $337,51 \text{ Kcal/m}^2$

Piso:  $3,5 \times 5,5 \times 337,51 = 6.497,06 \text{kcal}/24\text{h}$

Parede:  $2 \times (5,5 \times 2) \times 337,51 = 7.425,22 \text{kcal}/24\text{h}$

Parede:  $2 \times (3,5 \times 2) \times 337,51 = 4.725,14 \text{kcal}/24\text{h}$

Teto:  $3,5 \times 5,5 \times 337,51 = 6.497,06 \text{kcal}/24\text{h}$   $Q1 = 25.144,48 \text{kcal}/24\text{h}$

Constata-se uma grande elevação, na faixa de 41%, na transferência de calor entre as paredes da câmara devido as diferenças de temperatura externa e interna.

Outro fator onde há interferência quando se altera as dimensões é no fluxo de ar durante a abertura da porta (Q2) cuja equação é:

$$Q2 = V * N * \alpha$$

V:  $3,5 \times 2 \times 5,5 = 38,5 \text{ m}^3$

N: 16 trocas de ar em 24 horas  $\alpha = 19,28 \text{ Kcal}/24\text{h} * \text{m}^3$

$Q2 = 11.876,48 \text{ Kcal}/24\text{h}$

Após os cálculos observa-se uma diferença de aproximadamente 20% a mais em relação ao modelo apresentado anteriormente.

O somar-se os novos valores com as outras cargas do processo obtiveram-se os seguintes resultados:

$QT = 43.764,27 \text{ Kcal}/24\text{h}$

Adicionando o fator de segurança (10%) tem-se:

$QT = 48.140,69 \text{ Kcal}/24\text{h}$

A carga diária a ser retirada da câmara teve um aumento de aproximadamente 27%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após os cálculos, nota-se a importância do bom dimensionamento para uma eficiência que possibilite a menor troca térmica e assim uma melhor qualidade da câmara e do produto a ser armazenado em seu interior.

Encontrou-se também a necessidade de se explorar novos fatores que afetem positivamente na construção da câmara como: novos isolantes com menor condutividade, equipamentos que evitem as trocas de ar, embalagem que troquem calor com o meio mais rapidamente para que se diminua o tempo do produto na câmara, estimular o resfriamento durante o próprio processamento do produto, entre outros.

O artigo, embora considerando apenas trocas de calor simples, conseguiu de forma concreta mostra que pequenas alterações nas medidas e componentes do refrigerador podem gerar alguns eventos indesejados que mais tarde terão de ser resolvidos o que implicará em despesas e muitas vezes comprometendo o processo produtivo.

## REFERÊNCIAS

BRAGANÇA, B. **Modelagem Matemática Na Educação: Compreensão De Significados**. Belo Horizonte. 2009.

BUENO, V. C. **Modelagem Matemática: Quatro Maneiras De Compreendê-La**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2011 p.7.

CARVALHO, I. T. **Microbiologia Dos Alimentos**. Técnico de Alimentos. UFPRE/CODAI. Ministério da Educação. 2010.

DIONYSIO, R. B.; MEIRELLES, F. V. P. **Conservação De Alimentos**. Sala de Leitura. PUC- Rio. (s.d)

FERNANDES, F.A.N. et al. **Termodinâmica Química**. 2006 p.2.

GERHARDT T.E.; SILVEIRA D.T. apud FONSECA. **Métodos de Pesquisa**. 1a Edição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009, p. 33.

MACAGNAM, M.H.; apud ASHRAE (2002). **Refrigeração**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2015.

NARLOCH, L. **Guia politicamente incorreto da história do mundo**. São Paulo. Grupo Leya. 2013.

OLIVEIRA, A. L. de. **Cálculo de carga térmica**. Departamento de Engenharia de Alimentos (ZEA). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA). UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. USP, 2018 p.7

OLIVEIRA, M. de; PAIVA, V. T. **Análise de desempenho das câmaras frigoríficas do ru-ufes. universidade federal do espírito santo**. Centro Tecnológico. Departamento De Engenharia Mecânica Projeto De Graduação. 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Associação Pró-Ensino Superior em Novo Hamburgo. ASPEUR. Universidade Feevale. 2a Edição, 2013 p.54.

RIJO, N. V. Câmara Frigorífica. **Cálculo de Carga Térmica**. 2017. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/48535755-camara-frigorifica-calculo-de-carga-termica.html>>. Acessado em: 19 out 2019.

ROSA, A. E. **Frigofácil: sistema de dimensionamento de câmaras frigoríficas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2000 p.6.

SILVA, S. R. **O uso da modelagem matemática no ensino de funções na educação básica.** Universidade Federal do Amapá. PROFMAT. Mestrado Profissional em Matemática. 2014 p.19

SOUZA, A. V. et al. **Projeto de câmara frigorífica para armazenamento de maçãs.** Anais do XV CONEMI. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial. IX SEEMI - Seminário Estadual de Engenharia Mecânica e Industrial. 2001 p.2

VIANELLO, L. P.; apud RUDIO. **Métodos e técnicas de pesquisa. (2007).** Disponível em : <<https://docplayer.com.br/67914112-Metodos-e-tecnicas-de-pesquisa-luciana-peixoto-vianello.html>>. Acessado em: 20 out. 2019.