

Wilbert F. Stoecker
José M. Saiz Jabardo

REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

3ª edição

Blucher

Wilbert F. Stoecker
José M. Saiz Jabardo

REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

3ª EDIÇÃO

Refrigeração industrial

© 2018 Wilbert F. Stoecker e José M. Saiz Jabardo, 3ª edição

Editora Edgard Blücher Ltda.

1ª edição – 2001

2ª edição – 2002

3ª edição – 2018

Imagem da capa: iStockphoto

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico,
conforme 5. ed. do *Vocabulário Ortográfico
da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de
Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por
quaisquer meios sem autorização escrita da
editora.

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Stoecker, Wilbert F.

Refrigeração industrial / Wilbert F. Stoecker, José
M. Saiz Jabardo. – 3. ed. – São Paulo : Blucher, 2018.
530 p. : il.

Bibliografia

ISBN 978-85-212-1264-5 (impresso)

ISBN 978-85-212-1265-2 (e-book)

1. Refrigeração 2. Indústria – Refrigeração I. Título.
II. Jabardo, José M. Saiz.

17-1652

CDD 621.56

Índice para catálogo sistemático:

1. Refrigeração : Indústria

CONTEÚDO

CAPÍTULO 1 – REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL.....	17
1.1 Refrigeração industrial comparada ao condicionamento de ar para conforto	17
1.2 O que é a refrigeração industrial?	18
1.3 Armazenamento de alimentos não congelados	18
1.4 Alimentos congelados	19
1.5 Processamento de alimentos	20
1.6 Condicionamento de ar na indústria	22
1.7 Refrigeração na indústria de manufatura	23
1.8 Refrigeração na indústria da construção	23
1.9 Refrigeração na indústria química e de processos	24
Referências	24
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS DE TERMODINÂMICA	25
2.1 Introdução	25
2.2 Equações da conservação da massa e da energia	26
2.3 Exemplos de aplicação das equações da conservação da massa e da energia	30

Exemplo 2.1.....	30
Exemplo 2.2.....	31
Exemplo 2.3.....	32
Exemplo 2.4.....	33
Exemplo 2.5.....	35
2.4 Diagrama pressão-entalpia	36
2.5 Aplicação das tabelas e dos diagramas de propriedades termodinâmicas dos refrigerantes	38
Exemplo 2.6.....	39
2.6 Ciclo de refrigeração de Carnot.....	41
Exemplo 2.7.....	43
2.7 Ciclo de Carnot com um refrigerante real	44
Exemplo 2.8.....	45
2.8 Coeficiente de eficácia	47
2.9 Condições para COP elevados em ciclos de Carnot.....	47
Exemplo 2.9.....	49
2.10 Bomba de calor de Carnot	51
Exemplo 2.10.....	52
2.11 Análise do ciclo de Carnot por meio das entalpias	53
Exemplo 2.11.....	53
2.12 Compressão de vapor seco comparada à compressão de vapor úmido	56
Exemplo 2.12.....	57
2.13 Motor térmico comparado a um dispositivo de expansão.....	59
Exemplo 2.13.....	60
2.14 Ciclo-padrão de compressão a vapor e suas variantes.....	61
Exemplo 2.14.....	62
2.15 Conclusão	64
Referências	65

CAPÍTULO 3 – SISTEMAS DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS.....	67
3.1 Compressão em múltiplos estágios de pressão	67
3.2 Remoção do gás de <i>flash</i>	68
Exemplo 3.1.....	69
3.3 Resfriamento intermediário em compressão de duplo estágio	72
Exemplo 3.2.....	74
3.4 Compressão de duplo estágio e uma única temperatura de evaporação	77
Exemplo 3.3.....	78
3.5 Pressão intermediária ótima	79
3.6 Compressão de duplo estágio e dois níveis de temperatura de evaporação....	80
Exemplo 3.4.....	82
3.7 Seleção do compressor	84
Exemplo 3.5.....	86
3.8 Estágio único ou estágio duplo de compressão?	88
3.9 Sistemas em cascata.....	89
Exemplo 3.6.....	90
Exemplo 3.7.....	91
3.10 Conclusão.....	95
Referências	96
CAPÍTULO 4 – COMPRESSORES ALTERNATIVOS.....	97
4.1 Tipos de compressores.....	97
4.2 Rendimento volumétrico de espaço nocivo	99
4.3 Efeito da temperatura de evaporação sobre a vazão de refrigerante	101
4.4 Efeito da temperatura de evaporação sobre a capacidade frigorífica.....	103
4.5 Efeito da temperatura de evaporação sobre a potência de compressão.....	104
4.6 Efeito da temperatura de condensação sobre a vazão de refrigerante e a capacidade de refrigeração.....	105
4.7 Efeito da temperatura de condensação sobre a potência de compressão.....	107

4.8	Catálogos de fabricantes	107
4.9	Rendimento volumétrico real	110
	Exemplo 4.1.....	110
4.10	Eficiência de compressão adiabática	112
	Exemplo 4.2.....	112
4.11	Efeito das temperaturas de evaporação e condensação sobre o COP	113
	Exemplo 4.3.....	115
4.12	Relação entre pressões e diferenças máximas de pressão.....	115
	Exemplo 4.4.....	116
4.13	Efeito do superaquecimento do vapor de aspiração e do sub-resfriamento do líquido.....	116
	Exemplo 4.5.....	117
4.14	Temperaturas de descarga e cabeçotes resfriados a água	119
4.15	Lubrificação e resfriamento do óleo	120
4.16	Controle da capacidade.....	121
4.17	Compressores com múltiplas funções.....	123
4.18	Mercado dos compressores alternativos	124
	Referências	125
CAPÍTULO 5 – COMPRESSORES PARAFUSO		127
5.1	Tipos de compressores parafuso.....	127
5.2	Princípio de funcionamento	127
5.3	Desempenho de um compressor parafuso	130
5.4	Eficiência de compressão adiabática	132
5.5	Efeito das temperaturas de evaporação e de condensação	135
5.6	Controle de capacidade e desempenho em carga parcial.....	136
5.7	Compressores com relação entre volumes variável	138
5.8	Injeção de óleo e resfriamento	138
5.9	Aspiração a uma pressão intermediária.....	141

5.10	Seleção do motor de acionamento	143
5.11	Mercado dos compressores parafuso	143
5.12	Compressor parafuso de um único rotor	145
	Referências	147
CAPÍTULO 6 – EVAPORADORES, SERPENTINAS E RESFRIADORES.....		149
6.1	Meios de transferência da carga de refrigeração	149
6.2	Coefficiente global de transferência de calor	153
	Exemplo 6.1.....	156
6.3	Aletas nos trocadores de calor.....	157
6.4	Mudança de fase do refrigerante no interior de tubos.....	159
6.5	Propriedades do ar úmido – a carta psicrométrica	161
6.6	Conservação da massa e da energia em processos psicrométricos	163
	Exemplo 6.2.....	164
	Exemplo 6.3.....	165
6.7	Lei da linha reta.....	166
6.8	Linha do processo do ar numa serpentina	169
6.9	Efeito de condições operacionais sobre o desempenho da serpentina	171
6.10	Seleção de serpentinas em catálogos de fabricantes.....	173
6.11	Controle da umidade em ambientes refrigerados	177
6.12	Seleção e desempenho do ventilador e seu motor.....	182
6.13	Número de serpentinas e sua localização	185
6.14	Métodos de introdução do refrigerante e controle de sua vazão	187
6.15	Formação de neve em serpentinas de baixa temperatura.....	190
6.16	Métodos de degelo de serpentinas.....	191
6.17	Degelo por gás quente	193
6.18	Serpentinas com borrifamento de anticongelante	199
6.19	Resfriadores de líquidos.....	201
	Exemplo 6.4.....	203

6.20	Temperatura ótima de evaporação	205
	Referências	206
CAPÍTULO 7 – RECIRCULAÇÃO DE LÍQUIDO		207
7.1	Evaporador com recirculação de líquido	207
7.2	Circulação por bombas e por pressão de gás	208
7.3	Vantagens e desvantagens da recirculação de líquido	209
7.4	Fundamentos da recirculação de líquido	210
7.5	Admissão do refrigerante.....	215
7.6	Recirculação por bomba.....	217
7.7	Características das bombas de recirculação.....	219
7.8	Recirculação de líquido por pressão de gás	222
7.9	Análise energética do bombeamento por gás.....	226
	Exemplo 7.1.....	228
7.10	Considerações finais.....	231
	Referências	231
CAPÍTULO 8 – CONDENSADORES		233
8.1	Tipos utilizados na refrigeração industrial.....	233
8.2	Condensação em superfícies exteriores.....	234
8.3	Condensação no interior de tubos	236
8.4	Razão de rejeição de calor	237
	Exemplo 8.1.....	238
8.5	Desempenho de condensadores resfriados a ar e a água.....	240
	Exemplo 8.2.....	241
8.6	Torres de resfriamento	243
8.7	Condensadores evaporativos	246
8.8	Desempenho de condensadores evaporativos – características operacionais e de projeto	248
8.9	Efeito da temperatura de bulbo úmido do ar ambiente	249

8.10	Efeito das vazões do ar e da água sobre a capacidade.....	250
8.11	Análise das condições favoráveis para a redução da vazão de ar	251
8.12	Operação dos condensadores evaporativos durante o inverno.....	253
8.13	Remoção de incondensáveis	254
8.14	Tubulação em instalações com um único condensador.....	256
	Exemplo 8.3.....	260
8.15	Tubulação em condensadores paralelos	262
8.16	Condensador evaporativo como meio de resfriamento para cargas exteriores ao ciclo frigorífico.....	264
8.17	Tratamento da água em condensadores evaporativos	265
8.18	Condensador como componente do ciclo frigorífico	265
	Referências	266

CAPÍTULO 9 – TUBULAÇÕES269

9.1	Considerações gerais.....	269
9.2	Funções das linhas de refrigerante	269
9.3	Perda de carga em dutos circulares	270
	Exemplo 9.1.....	273
	Exemplo 9.2.....	273
9.4	Diâmetro ótimo.....	276
9.5	Dimensionamento da tubulação.....	277
	9.5.1 Linha de aspiração do compressor.....	278
	9.5.2 Linha de descarga do compressor.....	278
	9.5.3 Linha de líquido de alta pressão	279
	9.5.4 Linha de retorno da mistura bifásica ao separador de líquido.....	279
	9.5.5 Linhas de gás quente de degelo.....	279
	Exemplo 9.3.....	280
9.6	Linhas de líquido com trechos verticais	281
	Exemplo 9.4.....	282
	Exemplo 9.5.....	284

9.7	Linhas horizontais e em elevação para misturas bifásicas	285
9.8	Trechos em elevação na linha de aspiração de sistemas com expansão direta de refrigerantes halogenados	288
	Referências	290

CAPÍTULO 10 – VÁLVULAS.....293

10.1	Tipos de válvulas	293
10.2	Válvulas de bloqueio de atuação manual.....	293
10.3	Válvulas de expansão manuais ou válvulas de balanceamento	296
10.4	Válvulas de retenção	297
10.5	Válvulas de solenoide.....	297
10.6	Válvulas de solenoide pilotadas e acionadas por pressão de gás	298
10.7	Válvulas reguladoras de pressão: de ação direta, pilotadas e de compensação externa	300
10.8	Controles de nível	303
10.9	Válvulas de expansão controladas por superaquecimento	306
10.10	Considerações finais.....	312
	Referências	312

CAPÍTULO 11 – RESERVATÓRIOS313

11.1	Reservatórios em instalações frigoríficas industriais	313
11.2	Reservatórios de líquido – considerações gerais.....	314
	Exemplo 11.1.....	316
	Exemplo 11.2.....	317
11.3	Separadores de líquido – considerações gerais.....	318
11.4	Reservatórios de alta pressão	324
11.5	Separadores de líquido para evaporadores inundados.....	325
11.6	Reservatórios de baixa pressão.....	326
11.7	Tanque de <i>flash</i> /resfriador intermediário.....	327
11.8	Acumulador de aspiração.....	328

11.9	Técnicas para melhorar o desempenho dos reservatórios.....	328
11.10	Considerações finais sobre o dimensionamento de linhas e reservatórios	330
	Referências	330
	CAPÍTULO 12 – REFRIGERANTES	331
12.1	Introdução.....	331
12.2	Considerações preliminares	332
12.3	Nomenclatura	336
12.4	Propriedades físicas	340
12.5	Características de desempenho no ciclo de compressão a vapor	344
12.6	Aspectos relacionados à segurança na utilização e manuseio de refrigerantes.....	346
12.7	Compatibilidade com materiais	350
12.8	Interação com o óleo de lubrificação	351
12.9	Análise comparativa entre a amônia e os refrigerantes halogenados	354
	Referências	357
	CAPÍTULO 13 – SEGURANÇA.....	359
13.1	Introdução.....	359
13.2	Norma ANSI/ASHRAE 15-2013	361
13.3	Vasos de pressão (reservatórios)	362
13.4	Tubulações e válvulas.....	364
	Exemplo 13.1.....	366
13.5	Dispositivos de alívio.....	367
13.6	Ventilação da sala de máquinas	372
13.7	Proteção contra incêndios em câmaras refrigeradas	373
13.8	Detecção de vazamentos	375
13.9	Descarga da amônia	376
13.10	Recomendações complementares	376
13.11	Plano de segurança da instalação	377

Referências	377
APÊNDICE A – SISTEMAS DE UNIDADES E CONVERSÃO	379
APÊNDICE B – PROPRIEDADES	389
APÊNDICE C – DIAGRAMAS	517

CAPÍTULO 1

REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

1.1 REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL COMPARADA AO CONDICIONAMENTO DE AR PARA CONFORTO

A refrigeração industrial, a exemplo do condicionamento de ar, tem como objetivo o resfriamento de alguma substância ou meio e/ou manutenção de sua temperatura abaixo da do ambiente exterior. Os componentes básicos de ambos os processos não diferem: compressores, trocadores de calor, ventiladores, bombas, tubos, dutos e controles. Os fluidos envolvidos mais comuns são: ar, água e algum refrigerante. Em suma, cada um dos sistemas é composto fundamentalmente de um ciclo frigorífico.

Os processos anteriormente referidos apresentam uma série de similaridades, embora se distingam em diversos outros aspectos, como componentes e procedimentos de projeto e mercadológicos. Tais diferenças justificam um tratamento diferenciado da refrigeração industrial. Não há dúvidas quanto ao predomínio do condicionamento de ar no que diz respeito ao número de unidades instaladas, volume de vendas e número de engenheiros empregados. Entretanto, apesar da inferioridade comercial observada, o setor industrial envolve uma indústria atuante e tem reservado um papel fundamental na sociedade moderna.

A refrigeração industrial não pode ser considerada como um subproduto do condicionamento de ar. Ela apresenta características próprias que envolvem tanto uma mão de obra mais especializada quanto um custo maior de projeto em relação ao condicionamento de ar. Além disso, muitos problemas típicos de operação a baixas temperaturas, normais em instalações de refrigeração industrial, não se observam a temperaturas características do condicionamento de ar para conforto. Concluindo, sistemas de condicionamento de ar são geralmente montados em fábrica, sendo dotados de pontos de conexão hidráulica e elétrica, além das saídas para sistemas de circulação de ar. Em refrigeração industrial, por outro lado, a prática usual é a montagem no local de operação, em virtude da diversidade de instalações.

O presente capítulo trata das distintas aplicações da refrigeração industrial, descrevendo superficialmente diversas facetas desse processo que realçam o seu potencial de aplicação.

1.2 O QUE É A REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL?

A refrigeração industrial pode ser caracterizada pela faixa de temperatura de operação. No limite inferior, as temperaturas podem atingir valores entre $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, e $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ no limite superior. Aplicações em que se verifiquem temperaturas inferiores ao limite inferior pertencem à criogenia, a qual se especializa na produção e utilização de gás natural liquefeito, oxigênio e nitrogênio líquidos.

Outra maneira de caracterizar a refrigeração industrial seria por meio das aplicações. Assim, a refrigeração industrial poderia ser descrita como o processo utilizado nas indústrias químicas, de alimentos e de processos, envolvendo dois terços das aplicações, na indústria manufatureira e nos laboratórios. Algumas aplicações de bombas de calor poderiam ser associadas à refrigeração industrial, muito embora a rejeição de calor se faça a temperaturas relativamente elevadas em relação à temperatura ambiente.

1.3 ARMAZENAMENTO DE ALIMENTOS NÃO CONGELADOS

O tempo de exposição da maioria dos alimentos pode ser incrementado por meio de um armazenamento a baixas temperaturas. A Figura 1.1 ilustra o efeito da temperatura de armazenamento sobre o tempo de exposição de diversos alimentos [1]. Observa-se que, com a redução da temperatura de armazenamento, aumenta o tempo de exposição do alimento.

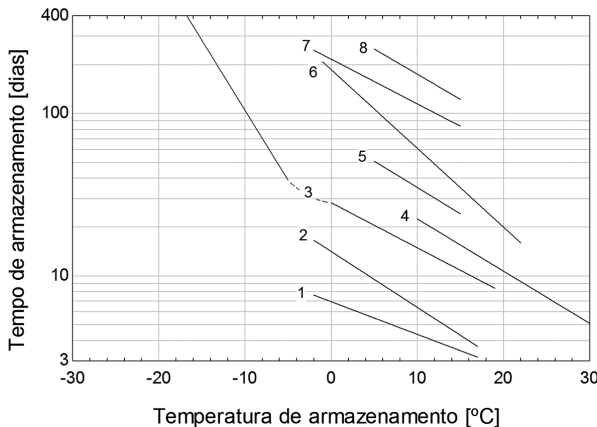


Figura 1.1 – Estimativa do tempo de exposição de diversos alimentos em função da temperatura. (1) Frango, (2) peixe, (3) carne, (4) banana, (5) laranja, (6) maçã, (7) ovos e (8) maçã, armazenados em atmosfera controlada de dióxido de carbono.

Muitos alimentos não exigem congelamento para seu armazenamento, incluindo-se entre eles: banana, maçã, tomate, alface, repolho, batata e cebola. A temperatura

de armazenamento ótima para alguns desses produtos é indicada na Tabela 1.1. Nessa tabela, as temperaturas indicadas levam em consideração não somente a preservação do alimento como também os aspectos econômicos do armazenamento. Embora alguns produtos exijam temperaturas bem superiores à do congelamento da água para preservar suas características, a maioria dos alimentos deve ser armazenada a temperaturas próximas de 0 °C. Algumas frutas podem ser armazenadas a temperaturas inferiores ao ponto de congelamento da água sem, entretanto, experimentarem qualquer formação de gelo, uma vez que a água presente contém, em solução, açúcar e outras substâncias que reduzem o ponto de congelamento.

Tabela 1.1 – Temperaturas recomendadas de armazenamento, sem congelamento, de diversos alimentos

Produto	Temperatura de armazenamento (°C)
Abacate	4 a 13
Alface	0 a 1
Banana	13 a 14
Frango	-1 a 2
Maçã	-1 a 0
Morango	-0,5 a 0
Pera	-2 a 0
Queijo	0 a 1
Repolho	0
Tomate	3 a 4

Fonte: referência [2].

Logo após a colheita, as frutas e verduras com frequência se encontram levemente aquecidas. A fim de evitar sua deterioração precoce, elas devem ser rapidamente resfriadas em uma câmara refrigerada [3], em vez de permitir que o resfriamento ocorra nas condições ambientais e, portanto, lentamente. Em muitos casos, utiliza-se um pré-resfriamento a vácuo. Este consiste em introduzir o produto, alface, por exemplo, em uma câmara pré-evacuada, com consequente evaporação da água presente nas folhas, o que promove um rápido resfriamento da verdura.

1.4 ALIMENTOS CONGELADOS

A indústria de alimentos congelados remonta aos anos de 1912-1915, quando uma expedição científica norte-americana se dirigiu à península do Labrador [4]. Clarence Birdseye, membro da expedição, observou que o peixe congelado a temperaturas inferiores a 0 °C mantinha suas características por longos períodos de tempo. Posteriormente, Birdseye desenvolveu uma espécie de congelador de placas, que uti-

lizou no congelamento de carne, frango, peixe e vegetais. Entretanto, a experiência norte-americana não teve a primazia. Já nos idos de 1880, durante o transporte de carne da Austrália para a Inglaterra, observou-se que parte da carne se congelara; ao se verificar que o congelamento não causara qualquer degradação nas características da carne, a sua prática se generalizou, dando início, assim, à indústria do alimento congelado.

A era moderna do alimento congelado teve início com o desenvolvimento de técnicas de congelamento rápido, pelas quais o congelamento pode ser realizado em horas, em vez de dias, evitando-se com isso a formação de microcristais de gelo no interior do produto. Essa indústria é responsável por uma significativa movimentação econômica, envolvendo um número expressivo de produtos que ano a ano vem se incrementando.

Os métodos mais comuns de congelamento [3] são os seguintes: (i) os *túneis de congelamento*, utilizando ar a alta velocidade (*air blast*); (ii) o *congelamento por contato*, em que o alimento, embalado ou não, é disposto entre placas refrigeradas; (iii) o *congelamento por imersão* do alimento em uma salmoura a baixa temperatura; e (iv) o *congelamento criogênico*, em que um fluido criogênico, normalmente dióxido de carbono ou nitrogênio, ambos no estado líquido, é espargido no interior da câmara de congelamento.

Na cadeia de distribuição, como regra geral, o alimento congelado é inicialmente armazenado em grandes câmaras, de onde é removido em pequenas quantidades para os centros consumidores. As temperaturas de armazenamento dos alimentos congelados variam na faixa entre $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, embora produtos como o peixe sejam mais sensíveis à temperatura. Câmaras de armazenamento de peixe congelado operam até temperaturas da ordem de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. O sorvete apresenta um comportamento semelhante ao de uma salmoura. Nesta, a presença de substâncias anticongelantes confere à solução um ponto de congelamento inferior àquele da água pura. A faixa de temperatura pela qual deve passar o sorvete até seu completo congelamento varia entre uma temperatura superior de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma temperatura inferior da ordem de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. O sorvete é embalado a uma temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, na qual já apresenta alguma consistência, embora possa escoar. Uma vez embalado, é transportado para uma sala de endurecimento, onde sua temperatura é reduzida até $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, a fim de completar seu congelamento.

1.5 PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS

O objetivo básico do armazenamento refrigerado de alimentos, congelados ou não, é a preservação de suas características. Por outro lado, a refrigeração pode ser utilizada em processos de mudança das características ou mesmo estrutura química, o que se denominará de processamento de alimentos. Entre aqueles que sofrem processamento durante sua preparação, podem ser citados: queijos, bebidas como cerveja, vinhos e sucos cítricos, e café instantâneo.

O processo de produção de queijo depende do tipo considerado, mas todos têm em comum o fato de se originarem do leite coalhado, resultante da ação de alguma bacté-

ria. A coalhada constitui a base para a produção de queijo, o qual, durante o processo de cura, normalmente exige um ambiente refrigerado. A temperatura de cura varia com o tipo de queijo, situando-se, geralmente, entre 10 °C e 20 °C, por períodos que vão de alguns dias até meses.

No caso da cerveja, duas são as reações químicas principais que ocorrem durante o processo de fabricação: (i) conversão do amido do grão em açúcar; e (ii) fermentação, durante a qual o açúcar é convertido em álcool e dióxido de carbono. Como a fermentação é um processo exotérmico, o produto deve ser resfriado para que a temperatura não se eleve a ponto de reduzir ou mesmo interromper a transformação do açúcar. A mistura em fermentação deve ser mantida a uma temperatura que pode variar entre 7 °C e 13 °C. Por outro lado, a refrigeração também é utilizada no processo de maturação da cerveja, que demanda um período de dois a três meses em ambiente refrigerado.

A produção de vinho também demanda refrigeração. Após a fermentação, o vinho é mantido em tonéis de aço inoxidável por um período que varia de seis meses a dois anos, em um ambiente cuja temperatura deve ser da ordem de 10 °C. Outro aspecto importante na produção do vinho é o processo de estabilização a frio, durante o qual se precipita o bitartrato de potássio (BP). Esse composto não é tóxico, mas a sua presença no vinho, principalmente nos tipos brancos, confere um aspecto desagradável ao produto. O BP se deposita naturalmente a 10 °C, demandando um período relativamente longo. Entretanto, se a temperatura do vinho for reduzida até -4 °C, a deposição do BP pode ser acelerada para um período de dez dias.

O procedimento de concentrar sucos de frutas, como o de laranja, é justificado pela redução de volume que se obtém, o que diminui significativamente os custos de armazenamento e transporte. As usinas de processamento instaladas junto à região produtora removem aproximadamente 75% da água do suco original, congelando a seguir o concentrado. O processo de remoção da água deve ser realizado a temperaturas relativamente baixas, situadas na faixa entre 18 °C e 25 °C, a fim de preservar o sabor do produto. O processo de vaporização é realizado a vácuo, de modo que o vapor formado deve ser removido para a atmosfera. Os primeiros concentradores utilizavam ejetores de vapor para essa remoção. Hoje em dia, o vapor formado é condensado e removido na forma líquida. A condensação pode ser realizada por meio da refrigeração feita segundo um ciclo frigorífico em que a rejeição de calor na condensação pode ser utilizada no processo de concentração do suco, como ilustrado na Figura 1.2. O circuito frigorífico mostrado nessa figura opera removendo calor do condensador de vapor e rejeitando-o no vaporizador (concentrador), comportando-se como uma bomba de calor. A taxa de remoção de energia no condensador de vapor é praticamente a mesma da que deve ser fornecida no concentrador. Nessas condições, como o calor removido no evaporador do circuito frigorífico é igual ao rejeitado no condensador do mesmo circuito menos a potência de compressão, um trocador de calor foi instalado na descarga do compressor a fim de remover o excesso de calor resultante da compressão.

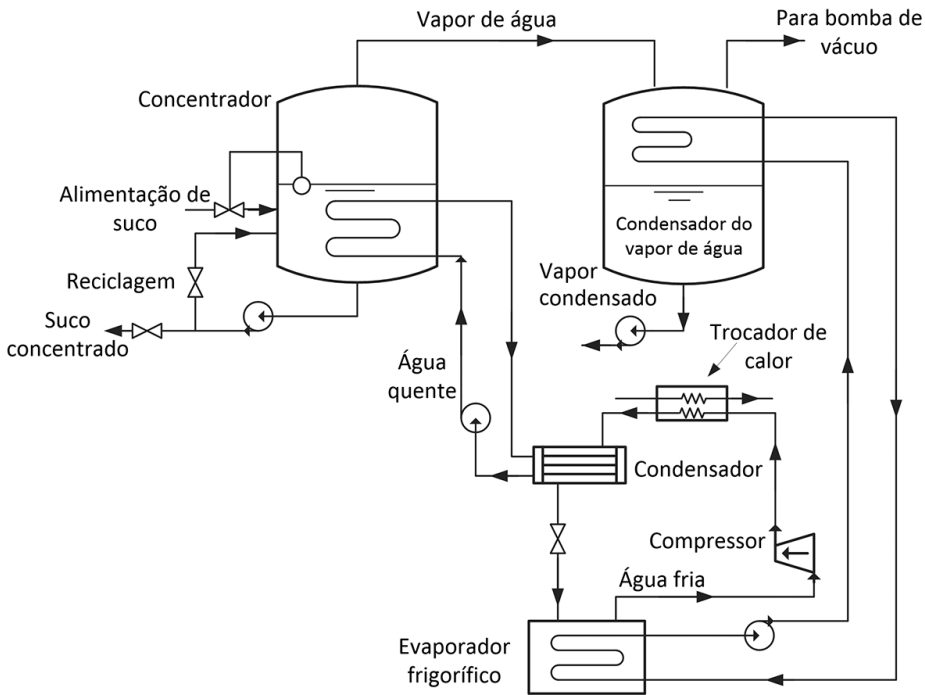


Figura 1.2 – Bomba de calor na concentração de sucos.

Outro processo de remoção da água a baixas temperaturas envolve o congelamento do produto, seguido de uma redução da pressão, com o qual a água é removida por sublimação do gelo, por meio de um aquecimento gradual do congelado. Esse processo é adequadamente denominado *secagem por congelamento* (*freeze-drying*) e deve ser acompanhado de uma remoção do vapor formado, para o qual podem ser utilizados tanto meios mecânicos, como ejetores de vapor, quanto a condensação do vapor e remoção do líquido. Esse processo é normalmente mais econômico. A secagem por congelamento foi introduzida durante a Segunda Guerra Mundial no congelamento de plasma sanguíneo e, desde então, tem sido empregada em indústrias farmacêuticas, de sucos de frutas, de café, de infusões (chá), de laticínios e na preparação de alguns alimentos especiais.

1.6 CONDICIONAMENTO DE AR NA INDÚSTRIA

O condicionamento de ar pode ser dividido em duas categorias distintas quanto ao seu objetivo: para conforto e industrial. Enquanto o condicionamento de ar para conforto visa às pessoas, o industrial tem por objetivo satisfazer condições de processos. No que diz respeito ao ar, o condicionamento de ar na indústria se diferencia daquele para conforto em diversos aspectos, entre os quais o nível de temperatura, as exigências de um controle adequado da umidade e um elevado índice de filtragem e remoção de contaminantes.

O condicionamento de ar na indústria pode ser encontrado em aplicações como a indústria editorial, em que um rígido controle da umidade se faz necessário para uma fixação adequada das cores em impressão colorida; a indústria têxtil, em que se busca limitar o rompimento de fibras e reduzir a eletricidade estática; e a indústria de material fotográfico e laboratórios. Finalmente, pode-se afirmar que a grande diferença entre o condicionamento de ar para conforto e o industrial reside na maior precisão que este último exige no controle da temperatura.

1.7 REFRIGERAÇÃO NA INDÚSTRIA DE MANUFATURA

O emprego da refrigeração é frequentemente exigido na usinagem e conformação de metais e na fabricação de produtos metálicos ou de outros materiais, como os plásticos. Um exemplo de aplicação é o da refrigeração do fluido de corte em máquinas de usinagem. Outro exemplo está relacionado ao ar comprimido, o qual é empregado em inúmeras aplicações na indústria, como no acionamento de certas máquinas. Como resultado de sua compressão, o ar é aquecido. Quando o ar comprimido tem a sua temperatura reduzida até o nível daquela do ambiente, ocorre, com frequência, condensação do vapor de água nele contido. A remoção do condensado pode constituir um problema, caso ocorra em locais inadequados. Para contornar tal inconveniente, é comum resfriar o ar logo após a descarga do compressor, a fim de facilitar a remoção da água condensada. Esse resfriamento exige a utilização da refrigeração.

Indústrias de manufatura frequentemente operam câmaras de teste que reproduzem e até mesmo excedem condições extremas de operação do produto. Tais condições envolvem normalmente temperatura e umidade, tanto nos limites superiores quanto nos inferiores. Os limites inferiores de temperatura são obtidos pela refrigeração, em geral, aplicada ao ar.

1.8 REFRIGERAÇÃO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Os dois exemplos mais importantes de aplicação da refrigeração na indústria da construção estão relacionados com obras civis de grande porte. O primeiro trata do resfriamento de grandes volumes de concreto, enquanto o outro envolve o congelamento do solo como preparação para sua escavação. A reação química que ocorre no concreto (cura) durante seu processo de endurecimento é exotérmica. O calor liberado deve ser removido para evitar temperaturas elevadas que poderiam provocar tensões térmicas, com conseqüente formação de fissuras. Dois são os procedimentos adotados [4]: o resfriamento prévio dos componentes (areia, cimento, agregado) ou o resfriamento do próprio concreto por meio de dutos embutidos no seu interior. O segundo caso trata do congelamento do solo úmido nas vizinhanças de escavações, para evitar com isso a formação de cavernas, e os conseqüentes desmoronamentos [5].

1.9 REFRIGERAÇÃO NA INDÚSTRIA QUÍMICA E DE PROCESSOS

As indústrias química, petroquímica, de refino de petróleo e farmacêutica são usuárias de sistemas de refrigeração de grande porte. Entre as operações que normalmente exigem refrigeração podem ser citadas as seguintes:

- separação de gases;
- condensação de gases;
- solidificação de uma espécie química de uma mistura para separá-la dos outros componentes;
- manutenção de um líquido a baixa temperatura para controlar a pressão no interior do recipiente de armazenamento;
- remoção do calor de reação.

O projeto de circuitos frigoríficos em certas indústrias químicas e de processos é frequentemente realizado na própria empresa por razões que envolvem questões de patente. Os componentes que satisfazem as especificações de projeto são obtidos de distintos fornecedores e o sistema é instalado pela própria empresa. Por outro lado, fabricantes de equipamentos oferecem unidades autônomas que resfriam e condensam correntes gasosas, rejeitando calor por meio de um condensador a água.

Esse tipo de indústria requer um nível elevado de projeto e engenharia em virtude do grande porte das instalações e dos elevados custos envolvidos.

REFERÊNCIAS

1. LORENTZEN, G. The role of refrigeration in solving the world food problem. In: *Anais do XIII International Congress of Refrigeration*, International Institute of Refrigeration, 1971.
2. THE REFRIGERATION RESEARCH FOUNDATION. *Commodity Storage Manual*. Washington, DC, atualizado periodicamente.
3. ASHRAE; ACE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING; AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE Handbook of Refrigeration 2014*. Atlanta, GA, 2014.
4. CASANOVE, E. Concrete cooling on dam construction for world's largest hydroelectric power station. *Sulzer Technical Review*, v. 61, n. 1, p. 3-19, 1979.
5. MAYER, C. M. Use of freezing for building a tunnel. *Tiefbau*, v. 20, n. 2, p. 63-67, 1978.



Clique aqui e:

[Veja na loja](#)

Refrigeração Industrial

Wilbert F. Stoecker
José M. Saiz Jabardo

ISBN: 9788521212645

Páginas: 530

Formato: 17x24 cm

Ano de Publicação: 2018