

... **Coleção UAB–UFSCar**

..... **Tecnologia Sucroalcooleira**

..... **Operações Unitárias: transmissão de calor**

· **Everaldo Cesar da Costa Araujo**

· **Operações Unitárias envolvendo**
· **transmissão de calor**



Operações Unitárias envolvendo transmissão de calor



Reitor

Targino de Araújo Filho

Vice-Reitor

Pedro Manoel Galetti Junior

Pró-Reitora de Graduação

Emília Freitas de Lima

Secretária de Educação a Distância - SEaD

Aline Maria de Medeiros Rodrigues Reali



Coordenação UAB-UFSCar

Claudia Raimundo Reyes

Daniel Mill

Denise Abreu-e-Lima

Joice Lee Otsuka

Valéria Sperduti Lima

Coordenador do Curso

de Tecnologia Sucroalcooleira

Miguel Antonio Bueno da Costa

UAB-UFSCar

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, km 235

13565-905 - São Carlos, SP, Brasil

Telefax (16) 3351-8420

www.uab.ufscar.br

uab@ufscar.br

Everaldo Cesar da Costa Araujo

Operações Unitárias envolvendo transmissão de calor

São Carlos

2010

© 2010, Everaldo Cesar da Costa Araujo

Concepção Pedagógica

Daniel Mill

Supervisão

Douglas Henrique Perez Pino

Equipe de Revisão Linguística

Ana Luiza Menezes Baldin

André Stahlhauer

Andréia Pires de Carvalho

Ângela Cristina de Oliveira

Jorge Ialanji Filholini

Mariucha Magrini Neri

Paula Sayuri Yanagiwara

Priscilla Del Fiori

Sara Naime Vidal Vital

Equipe de Editoração Eletrônica

Izis Cavalcanti

Rodrigo Rosalis da Silva

Equipe de Ilustração

Jorge Luís Alves de Oliveira

Thaís Assami Guimarães Makino

Capa e Projeto Gráfico

Luís Gustavo Sousa Sguissardi

..... SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
---------------------------	----------

UNIDADE 1: Trocadores de calor

1.1 Primeiras palavras	13
1.2 Problematizando o tema.....	13
1.3 Trocadores de calor.....	13
1.3.1 Trocador de calor duplo tubo	14
1.3.1.1 Balanço de energia.....	15
1.3.1.2 Diferença de temperatura em um trocador de calor.....	16
1.3.1.3 Operação em paralelo e contracorrente	19
1.3.2 Trocador de calor casco e tubo.....	22
1.3.2.1 Partes constituintes do trocador casco e tubo.....	24
1.3.2.1.1 Tubos do feixe	24
1.3.2.1.2 Casco	28
1.3.2.1.3 Chicanas.....	28
1.3.2.2 Número de passagens dos fluidos num trocador casco e tubos	29
1.3.2.3 Diferença de temperatura média	33
1.3.3 Trocador de calor de placas	37
1.3.3.1 Placas	39
1.3.3.2 Juntas de vedação (<i>gaskets</i>)	41
1.3.3.3 Bocais	42
1.3.3.4 Placas conectoras	42
1.3.3.5 Vantagens e restrições	43
1.3.4 Cálculo de trocadores de calor	44
1.3.4.1 Trocadores de calor duplo tubo	45
1.3.4.2 Trocadores de calor casco e tubo.....	47
1.3.4.3 Cálculo da temperatura da parede	48

1.4 Estudos complementares.....	49
1.4.1 Saiba mais	50
1.5 Considerações finais.....	50
1.6 Exercícios.....	50

UNIDADE 2: Evaporadores

2.1 Primeiras palavras.....	57
2.2 Problematizando o tema.....	57
2.3 Evaporadores	57
2.3.1 Tipos de evaporadores	60
2.3.1.1 Evaporadores de circulação natural	60
2.3.1.2 Evaporadores de circulação forçada.....	63
2.3.1.3 Evaporadores de película	64
2.3.2 Fundamentos	68
2.3.2.1 Elevação do ponto de ebulição (e.p.e.).....	68
2.3.2.2 Diagrama de Dühring.....	70
2.3.2.3 Balanços de massa e energia.....	71
2.3.2.4 Desempenho de evaporadores.....	77
2.3.2.5 Diferença de temperatura no evaporador.....	79
2.3.2.6 Condições de pressão	81
2.3.2.7 Coeficiente global de troca de calor	81
2.3.3 Condensadores acoplados aos evaporadores.....	84
2.3.4 Evaporadores de múltiplos efeitos	87
2.3.4.1 Balanço de massa e energia.....	91
2.3.4.2 Desempenho dos evaporadores de múltiplos efeitos	92
2.3.4.3 Número de efeitos ótimo	93
2.3.4.4 Efeito da elevação do ponto de ebulição na diferença de temperatura	94
2.3.4.5 Retirada de vapor (sangria)	96
2.3.4.6 Métodos de alimentação	97

2.4 Estudos complementares.....	100
2.4.1 Saiba mais	101
2.5 Considerações finais.....	101
2.6 Exercícios.....	101

UNIDADE 3: Psicrometria

3.1 Primeiras palavras.....	107
3.2 Problematizando o tema.....	107
3.3 Psicrometria	107
3.3.1 Definições.....	108
3.3.1.1 Umidade (absoluta) ou conteúdo de umidade ou razão de umidade	108
3.3.1.2 Umidade de saturação – Gás saturado.....	110
3.3.1.3 Umidade relativa e umidade porcentual	111
3.3.1.4 Calor úmido	112
3.3.1.5 Volume úmido	113
3.3.1.6 Ponto de orvalho	114
3.3.1.7 Entalpia total	114
3.3.2 Temperatura de bulbo úmido	118
3.3.3 Temperatura de saturação adiabática	121
3.3.4 Relação entre temperatura de bulbo úmido e temperatura de saturação adiabática	123
3.3.5 A carta psicrométrica	124
3.4 Estudos complementares.....	127
3.4.1 Saiba mais	128
3.5 Considerações finais.....	128
3.6 Exercícios.....	128

UNIDADE 4: Secagem

4.1 Primeiras palavras.....	133
4.2 Problematizando o tema.....	133
4.3 Secagem	133
4.3.1 Condições externas e condições internas	134
4.3.2 Umidade de um sólido	135
4.3.3 Curvas de equilíbrio – Isotermas de umidade.....	137
4.3.4 O mecanismo da secagem – Processo de secagem em condições constantes	139
4.3.4.1 Período de velocidade de secagem constante	143
4.3.4.2 Período de velocidade de secagem decrescente	145
4.3.5 Estimativa do tempo de secagem para condições de secagem constantes.....	147
4.3.6 Secagem contínua.....	148
4.4 Estudos complementares.....	152
4.4.1 Saiba mais	152
4.5 Considerações finais.....	153
4.6 Exercícios.....	153
REFERÊNCIAS	157

APRESENTAÇÃO

Este livro foi escrito com o objetivo de ser o livro-texto da disciplina Operações Unitárias: transmissão de calor do curso de Tecnologia Sucroalcooleira da UAB-UFScar. São apresentadas algumas das operações unitárias e os equipamentos relacionados à transmissão de calor e à transmissão simultânea de calor e massa. O livro está dividido em quatro unidades.

Na unidade 1 são apresentados os principais tipos de trocadores de calor e são aplicados os fundamentos de transmissão de calor na análise e cálculo de trocadores de calor. Estes equipamentos são bastante comuns nos processos químicos, pois visam alterar a temperatura ou o estado físico de alguma corrente do processo.

Na unidade 2 são apresentados os evaporadores e aplicados os fundamentos necessários para dimensioná-los e avaliá-los. Os balanços de massa e energia são ferramentas importantes nessa avaliação. Os evaporadores são utilizados para concentrar soluções. O processo de produção de açúcar é um bom exemplo de utilização de evaporadores, já que em uma de suas etapas o caldo de cana deverá ser concentrado. Esta operação requer grande consumo de energia fazendo com que os evaporadores tenham grande importância no processo.

Na unidade 3 são apresentados os fundamentos da psicrometria que na realidade não é uma operação unitária, mas apresenta definições e propriedades de um sistema composto por um gás e um vapor, um exemplo típico é o sistema ar-vapor de água. Estas definições e propriedades são utilizadas em outras operações unitárias, como por exemplo, a secagem de sólidos.

Na unidade 4 são apresentados os fundamentos e as características da operação de secagem. Esta operação unitária normalmente está localizada no final do processo químico antes apenas da embalagem do produto e o seu objetivo é retirar umidade de um sólido ou pasta. Sua importância está relacionada à pureza do produto e garantia de condições de armazenagem adequadas sem deterioração ou contaminação.

Para os profissionais que atuam no processo químico é fundamental conhecer os equipamentos que compõem o processo, ter noções de seu dimensionamento e ser capaz de analisar o seu desempenho. Estes são alguns dos nossos objetivos.