

WALDEMAR GASTONI VENTURINI FILHO

COORDENADOR

BEBIDAS – VOL. 3

INDÚSTRIA DE BEBIDAS

Inovação, Gestão e Produção

Blucher

INDÚSTRIA DE BEBIDAS

INOVAÇÃO, GESTÃO E PRODUÇÃO

Blucher

Waldemar Gastoni Venturini Filho
Coordenador

INDÚSTRIA DE BEBIDAS

INOVAÇÃO, GESTÃO E PRODUÇÃO

VOLUME 3

Esta obra tem o apoio cultural da:



Fundação de Estudos e Pesquisas
Agrícolas e Florestais

www.fepaf.org.br

Indústria de Bebidas: inovação, gestão e produção
© 2011 Waldemar Gastoni Venturini Filho
1ª edição – 2011
Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil
Tel 55 11 3078-5366
editora@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo 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.

FICHA CATALOGRÁFICA

Indústria de bebidas: inovação, gestão e produção,
volume 3 / Waldemar Gastoni Venturini Filho, coordenador.
– São Paulo: Blucher, 2011.

Vários autores.

Bibliografia
ISBN 978-85-212-0591-3

1. Bebidas - Brasil 2. Indústria de bebidas -
Brasil I. Venturini Filho, Waldemar Gastoni.

11-05247

CDD-663.0981

Índices para catálogo sistemático:

1. Brasil: Bebidas: Tecnologia 663.0981
2. Indústria de bebidas: Tecnologia: Brasil 663.0981



Prefácio

Deve-se realizar o trabalho como um sacrifício a Vishnu;
caso contrário, o trabalho produz cativo neste mundo material.
Portanto, ó filho de Kunti, execute seus deveres prescritos para a satisfação dEle,
e desta forma você sempre permanecerá livre do cativo
Bhagavad Gita 3.9.

Este livro faz parte da Série Bebidas (Volume 1: **Bebidas alcoólicas**: ciência e tecnologia; Volume 2: **Bebidas não alcoólicas**: ciência e tecnologia; Volume 3: **Indústria de bebidas**: inovação, gestão e produção). Esta trilogia é resultado do esforço coletivo de mais de uma centena de autores de nove nacionalidades (Brasil, Costa Rica, Cuba, México, Peru, Uruguai, Irlanda, Portugal e República Tcheca) que escreveram 69 capítulos. A coleção deverá ter em torno de 1400 páginas de textos técnicos.

Dos 23 capítulos que compõem o volume 1, onze são referentes às bebidas fermentadas, nove abordam as bebidas destiladas, dois descrevem as bebidas obtidas por mistura e há um capítulo sobre bebidas retificadas. Há três capítulos sobre cerveja e cinco sobre vinho. Nesse volume, dez capítulos referem-se a bebidas obtidas a partir da uva. Portanto, o nível de detalhamento encontrado aqui é maior àquele encontrado em outras publicações assemelhadas.

No volume 2, há 19 capítulos, sendo nove sobre sucos de frutas e bebidas correlatas e outros 10 sobre água (de coco e mineral), bebidas isotônicas, à base de soja, lácteas, estimulantes, cajuína, refrigerante e aquelas regionais produzidas na Amazônia e nos Cerrados.

O volume 3, composto por 27 capítulos, é uma novidade proposta pelo editor Eduardo Blücher, que nos sugeriu um volume sobre a gestão na indústria de bebidas. Desafio aceito pelo coordenador e autores, este volume foi dividido em três partes: 1) aspectos da produção, com 9 capítulos; 2) gestão de processos e produtos, com 12 capítulos; 3) novas tecnologias e novos produtos, com 6 capítulos.

Pela sua característica, esta trilogia deverá crescer continuamente em quantidade de informação com a incorporação de novos capítulos, uma vez que há lacunas a serem preenchidas nos três volumes. Crescerá também em qualidade, já que os autores incrementam sua capacitação a cada ano de trabalho.

Merece destaque o processo de internacionalização que ocorreu nos volumes 1 e 3. Temos a participação de autores latino-americanos e europeus. Eles foram responsáveis, em parceria ou não com autores brasileiros, pelos capítulos sobre cerveja, uísque, pisco, tequila, rum, embalagens e novas tecnologias. O mentor deste processo foi o Prof. João Batista de Almeida e Silva, da Escola de Engenharia de Lorena – USP, que mantém vários convênios internacionais, facilitando o ingresso dos autores estrangeiros no projeto desta Série.

2009 foi o ano do octogésimo aniversário do Prof. Urgel de Almeida Lima, aposentado da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, que formou várias gerações de professores e pesquisadores brasileiros. Ele dedicou sua vida profissional à Tecnologia de Alimentos e Bebidas e deixou registrada sua experiência em três capítulos (*Licor, Bebidas estimulantes e Água como utilidade na indústria de bebidas*). Participou, portanto, dos três volumes que compõem a Série Bebidas. Em nome de todos os autores, gostaríamos de parabenizá-lo e agradecê-lo. É uma satisfação poder conviver com ele.

Gostaríamos de agradecer a todos os autores que confiaram seus esforços no trabalho do coordenador. Esta Série só existe em função deles. Agradecemos também àqueles que nos ajudaram a selecionar autores para os capítulos cujos assuntos não nos eram familiar, aos que nos auxiliaram na organização do volume 3 e também àqueles de aceitaram em trabalhar em parceria.

Nossos agradecimentos aos professores Mário Sérgio Nali e Maura Seiko Tsutsui Esperancini (Unesp), pela ajuda na organização dos capítulos do volume 3 (Indústria de Bebidas).

Nossos agradecimentos também ao editor Eduardo Blücher, por nos ter desafiado a criar o volume 3 que não estava nos planos originais deste projeto. Este volume nos obrigou a alargar o nosso campo de visão, a sair do mundo da tecnologia para aventurarmos por outras áreas desconhecidas, mas tão importantes quanto à primeira para a viabilização da produção industrial de bebidas. Agradecemos a toda equipe da Editora Blücher pelo carinho e profissionalismo com que tem nos recebido.

Lembramos que o trabalho metódico de correção das referências bibliográficas dos capítulos foi feito pelas bibliotecárias Célia Regina Inoue e Janaína Celoto Guerrero, ambas da biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Campus de Botucatu. Todos os autores lhes são gratos.

A revisão das provas dos três volumes foi feita pelos próprios autores e pelos nossos orientados Andressa Nogueira, Bruno Jubileu, Luciana Brunelli e Ricardo Figueira. À eles os nossos agradecimentos.

Cabe destacar que algumas fundações universitárias apoiaram financeiramente a Série Bebidas (Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais – Botucatu, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – Piracicaba e Fundação Educacional de Lavras). Nossos agradecimentos aos autores (Prof. Urgel de Almeida Lima, da Esalq/USP e Prof. Disney Ribeiro Dias, da Unilavras), que conseguiram apoio junto a suas fundações, bem como aos seus diretores.

Por fim, temos a certeza de que o leitor tem em mãos livros de boa qualidade que foram escritos por especialistas de cada área abordada. Que ele esteja certo de que não há no mercado editorial brasileiro qualquer obra equiparável a esta em termos de abrangência de conteúdos e qualidade de informações.

Botucatu, 16 de fevereiro de 2011.

Waldemar Venturini
Coordenador



Sobre os autores

ALESSANDRA SANTOS LOPES

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Rua Conselheiro Furtado, n. 1693, apto. 303, CEP 66040-100, Belém, PA.
aslopes@ufpa.br

ALEXANDRE ATAÍDE DA SILVA

Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, Avenida Trabalhador São-Carlense, n. 400, CEP 13560-970, São Carlos, SP.
aasilva55@hotmail.com

ANA CLÁUDIA BARANA

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia de Alimentos, Avenida General Carlos Cavalcanti, n. 4748, Campus de Uvaranas, CEP 84030-900, Ponta Grossa, PR.
acbarana@uepg.br

ANA ELISA BRESSAN SMITH LOURENZANI

Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Tupã, Av. Domingos da Costa Lopes, n. 780, CEP 17602-496, Tupã, SP.
anaelisa@tupa.unesp.br

ANTÓNIO AUGUSTO MARTINS OLIVEIRA SOARES VICENTE

Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Biológica, Campus Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal.
avicente@deb.uminho.pt

AUGUSTO HAUBER GAMEIRO

Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Av. Duque de Caxias Norte, n. 225, CEP 13635-900, Pirassununga, SP.
gameiro@usp.br

BENEDITO DOS SANTOS LIMA NETO

Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, Avenida Trabalhador São-Carlense, n. 400, CEP 13560-970, São Carlos, SP.
benedito@iqsc.usp.br

CARLOS ALEXANDRE GALINARO

Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, Avenida Trabalhador São-Carlense, n. 400, CEP 13560-970, São Carlos SP.
carlos_alexan@yahoo.com.br

CLAUDIO DONATO DE OLIVEIRA SANTOS

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Rua Rufino Torres, n. 293, CEP 12607-280, Lorena, SP.
donato@debiq.eel.usp.br

CLÁUDIO MARCELO DE ANDRADE

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Rua Januário de Nápoli, n. 54, CEP 84031-420, Ponta Grossa, PR.
clmarcelo@yahoo.com.br

DANIEL PEREIRA DA SILVA

Universidade Tiradentes, Instituto de Tecnologia e Pesquisa, Campus Farolândia, Av. Murilo Dantas, n. 300, Prédio ITP, CEP 49032-490, Aracaju, SE.
silvadp@hotmail.com

DANIEL RODRIGUES CARDOSO

Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, Avenida Trabalhador São-Carlense, n. 400, CEP 13560-970, São Carlos SP.
drcardoso@iqsc.usp.br

DORON GRULL

Universidade de São Paulo, Centro de Apoio à Faculdade de Saúde Pública, Av. Dr. Arnaldo, n. 715, CEP 01246-904, São Paulo, SP.
dgrull@uol.com.br

DOUGLAS WAGNER FRANCO

Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, Avenida Trabalhador São-Carlense, n. 400, CEP 13560-970, São Carlos SP.
douglas@iqsc.usp.br

FABIANA HELOISA SANCHES FERRATO SAITO

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Departamento de Alimentos e Nutrição, Rua Marcos Monazzi, n. 1920, CEP 15.991-278, Matão, SP.
fabiana.saito@uol.com.br

FRANCISCO VICENTE GAIOTTO CLETO

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Superintendência Federal de Agricultura em São Paulo/Sipag – Serviço de Inspeção de Produtos Agropecuários, Rua Galileu Galilei, n. 207, CEP 14020-620, Ribeirão Preto, SP.
fvgaiotto@ig.com.br

GIOVANA GIOVANNI

BPF Consultoria, Rua 1, n. 88, Conjunto Novo Icaraí, CEP 61620-000, Caucaia, CE.
bpfconsultoria@hotmail.com

GIOVANA KÁTIE WIECHETECK

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil, Av. Gal. Carlos Cavalcanti, n. 4748, CEP 84030-900, Ponta Grossa, PR.
giovana@uepg.br

GIOVANA TOMMASO

Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia de Alimentos, Av. Duque de Caxias Norte, n. 225, CEP 13635-900, Pirassunga, SP.
tommaso@usp.br

GIOVANI BRANDÃO MAFRA DE CARVALHO

FDA Latin America Regional Office, Embassy of the United States of America, P.O. Box 920-1200, Pava, San Jose, Costa Rica.
gbmafra@yahoo.com.br

GISELA KOPPER

FDA Latin America Regional Office, Embassy of the United States of America. P.O.BOX 920-1200 Pavas, San Jose, Costa Rica.
gisela.kopper@gmail.com

GIULIANO MARCELO DRAGONE MELNIKOV

Universidade do Minho, Instituto de Biotecnologia e Bioengenharia, Departamento de Engenharia Biológica, Campus Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal.
gdragone@deb.uminho.pt

HENRIQUE COTAIT RAZUK

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Massud Amim, n. 271, apto. 103, CEP 86300-000, Cornélio Procópio, PR.
cotait@utfpr.edu.br

IZABEL CRISTINA TAKITANE

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Rua José Barbosa de Barros, n. 1780, CEP 18610-307, Botucatu, SP.
iztak@fca.unesp.br

JOÃO BATISTA DE ALMEIDA E SILVA

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Rodovia Itajubá-Lorena, km 74,5, CEP 12602-810, Lorena, SP.
joabatista@debiq.eel.usp.br

JOÃO BOSCO FARIA

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Departamento de Alimentos e Nutrição, Rodovia Araraquara/Jaú, km 1, Caixa postal 502, CEP 14801-902, Araraquara, SP.
fariajb@fcfar.unesp.br

JOÃO GUILHERME DE C. F. MACHADO

Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Tupã, Av. Domingos da Costa Lopes, n. 780, CEP 17602-496, Tupã, SP.
joao@tupa.unesp.br

JORGE BEHRENS

Consultor em análise sensorial e estudos do consumidor, Rua Antonio Cezarino, n. 458, apto. 1022, CEP 13015-290, Campinas, SP.
mail@jorgebehrens.com

JOSÉ ANTÓNIO COUTO TEIXEIRA

Universidade do Minho, Instituto de Biotecnologia e Bioengenharia, Departamento de Engenharia Biológica, Campus Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal.
jateixeira@deb.uminho.pt

JOSÉ CARLOS PEREIRA PINTO

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Alberto Carazzi, n. 1640, CEP 86300-000, Cornélio Procopio, PR.

josecarlospp@uol.com.br

JOSÉ FRANCISCO RODRIGUES

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru, Avenida Eng. Luiz Edmundo Coube, n. 14-01, CEP 17033-360, Bauru, SP.

jfranc@feb.unesp.br

JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO

Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Av. Pádua Dias, n. 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP.

jvcaixet@esalq.usp.br

LÉA SILVIA SANT'ANA

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Rua José Barbosa de Barros, n. 1780, CEP 18610-307, Botucatu, SP.

santana@fca.unesp.br

LUIZ CÉSAR RIBAS

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Rua José Barbosa de Barros, n. 1780, CEP 18610-307, Botucatu, SP.

lribas@fca.unesp.br

LUIZ OTÁVIO CORRÊA

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Lino Belezi, n. 190, CEP 19902-060, Ourinhos, SP.

luizotavio@utfpr.edu.br

MAGALI MONTEIRO DA SILVA

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Departamento de Alimentos e Nutrição, Rodovia Araraquara/Jaú, km 1, Caixa postal 502, CEP 14801-902, Araraquara, SP.

monteiro@fcfar.unesp.br

MARCELO MARQUES MAGALHÃES

Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Tupã, Av. Domingos da Costa Lopes, n. 780, CEP 17602-496, Tupã, SP.

marcelo@tupa.unesp.br

MARIA CÉLIA MARTINS DE SOUZA

Instituto de Economia Agrícola, Avenida Miguel Stéfano, n. 3900, CEP 04301-903, São Paulo, SP.

mcmsouza@uol.com.br

MARIA JOSÉ SOUSA GALLAGHER

University College Cork, College of Sefs, School of Engineering, Department of Process and Chemical Engineering, Cork, Ireland.

m.desousagallagher@ucc.ie

MÁRIO SÉRGIO NALI

Professor/Consultor, Rua Darcilio Pinheiro Machado, 231, CEP 18609-600, Botucatu, SP.

nallini@uol.com.br

MARTA HELENA FILLET SPOTO

Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Av. Pádua Dias, n. 11, CEP 13418-900.

mhfspoto@esalq.usp.br

MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Caixa postal 237, CEP 18610-307, Botucatu, SP.

maura@fca.unesp.br

NATÁLIA CANATO LORENZETI

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Departamento de Alimentos e Nutrição, Av. Martinho G. Rolfsen, n. 146, CEP 14.801-070, Araraquara, SP.

nalorenzeti@hotmail.com

NORBERTO GILBERTI SIMONETTI

Consultor, Av. Affonso José Aiello, n. 6-100, Residencial Villaggio II, CEP 17018-520, Bauru, SP.

norberto.simonetti@uol.com.br

PAULO CÉSAR RAZUK

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru, Rua José Pardo, n. 124, Residencial Parque Pontal, CEP 17490-000, Piratininga, SP.

pcrazuk@feb.unesp.br

RAFAELLA MATTIETTO

Embrapa Amazônia Oriental, Laboratório de Agroindústria, Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/n, CEP 66095-100, Belém, PA.

rafaella@cpatu.embrapa.br

RENÊ ANDREASI JÚNIOR

Sapi Ind. e Com. de Embalagens Ltda., Rua Florindo Silva, n. 135, CEP 18610-150, Botucatu, SP.

andreasjr@uol.com.br

ROGER DARROS-BARBOSA

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Rua Cristóvão Colombo, n. 2265, CEP 15054-000, São José do Rio Preto, SP.

roger@ibilce.unesp.br

SIMONE DAMASCENO GOMES

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Rua Universitária, n. 2069, CEP 85819-210, Cascavel, PR.

simoned@unioeste.br

TEOFANES VICENTE TROMBINI

Caacatu, Rua Teodomiro Carmelo 275, CEP 18609-580, Botucatu, SP.

trombinit@yahoo.com.br

URGEL DE ALMEIDA LIMA

Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Rua Dr. Paulo Pinto, n. 63, CEP 13416-222, Piracicaba, SP.

ualima@esalq.usp.br

VERA LÚCIA MORES RALL

Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, Rua Prof. Salvador Benedito Galvão, n. 1175, CEP 18601-380, Botucatu, SP.

vlmores@ibb.unesp.br

WAGNER LUIZ LOURENZANI

Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Tupã, Avenida Domingos da Costa Lopes, n. 780, CEP 17602-496, Tupã, SP.

wagner@tupa.unesp.br

Conteúdo

Parte I Aspectos da produção

1. ÁGUA COMO UTILIDADE NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS	29
1. Introdução.....	29
1.1 Classificação e características das águas	29
1.2 Contaminantes	32
1.3 Elementos não considerados prejudiciais	32
1.4 Presença de matéria orgânica e microrganismos	33
2. Água como utilidade.....	33
2.1 Água para caldeiras.....	33
2.1.1 Corrosão.....	35
2.1.2 Incrustações.....	35
2.2 Água de resfriamento.....	35
2.2.1 Incrustações e contaminações.....	36
2.3 Água para limpeza e sanitização.....	36
3. O consumo sustentável de água na indústria de bebidas.....	37
3.1 Gasto de água	37
3.1.1 Água para lavagem das embalagens	38
3.2 Redução do consumo de água	38
3.3 Reúso da água.....	39
3.4 Águas de chuva	41
4. Tratamento de água.....	41
4.1 Clarificação de água por coagulação química	43
4.1.1 Coagulação química	43
4.1.2 Floculação	43
4.1.3 Sedimentação e flotação.....	43
4.1.4 Filtração	43

4.2	Clarificação de água por coagulação química e sem pré-tratamento	43
4.2.1	Tratamento em ciclo completo	44
4.3	Clarificação de água sem coagulação química	45
4.3.1	Filtração Lenta.....	45
4.4	Desinfecção e oxidação.....	46
4.4.1	Cloro	46
4.4.2	Ozônio.....	47
4.4.3	Peroxônio	47
4.4.4	Dióxido de cloro	48
4.4.5	Permanganato de potássio	48
4.5	Adsorção em carvão ativado em pó ou granular.....	49
4.6	Aeração.....	49
4.7	Abrandamento.....	49
4.8	Troca iônica	50
4.9	Tratamento por membranas	50
4.10	Armazenamento da água	50
	Referências bibliográficas.....	51

2. VAPOR COMO UTILIDADE NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS..... 53

1.	Introdução.....	53
1.1	Definições preliminares	53
1.2	Calor.....	53
1.3	Propriedades da substância pura	54
1.4	Trabalho.....	55
2.	Primeira Lei da Termodinâmica.....	55
2.1	Para um sistema fechado	55
2.2	Para um sistema aberto	56
3.	Vapor-d'água	57
3.1	O retorno do condensado e o aproveitamento do vapor <i>flash</i>	58
4.	Perdas de calor	60
5.	Eliminação de ar	60
6.	Eliminação de água.....	60
7.	O dimensionamento da tubulação	61
7.1	Pelo critério da velocidade	61
7.2	Pelo critério da perda de carga	61
8.	Caldeiras	61
8.1	Alguns acessórios	62
8.2	Riscos de explosões	63
8.3	O consumo de combustível.....	63
	Referências bibliográficas.....	64

3. ENERGIA ELÉTRICA COMO UTILIDADE NA INDÚSTRIADE BEBIDAS 65

1.	Introdução.....	65
2.	Gerenciamento do contrato de energia elétrica	66
2.1	Resolução n. 456 da Aneel	66

2.2	Da leitura e do faturamento.....	66
2.3	Gerenciando a demanda contratada	67
2.4	Fator de potência	68
2.5	Das responsabilidades.....	68
3.	Comercialização de energia elétrica no mercado livre	68
3.1	Objetivos do novo modelo.....	69
3.2	Diretrizes de comercialização de energia	69
3.3	Ambiente de contratação livre (ACL).....	69
4.	Monitoramento, controle e manutenção das instalações elétricas existentes	70
4.1	Plano de manutenção planejada anual.....	70
4.2	Gerenciando o plano de manutenção.....	70
5.	Programas permanentes de economia de energia	71
6.	Capacitação técnica da equipe de manutenção	71
7.	Arquivo técnico.....	72
8.	Peças de reposição	72
9.	Racionalizando processos	72
10.	Projeto e planejamento das futuras instalações	73
11.	ABNT NBR 5410 E A NR 10.....	73
	Referências bibliográficas.....	73

4. AR COMPRIMIDO COMO UTILIDADE NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS 75

1.	Introdução.....	75
2.	Importância do ar comprimido em indústrias de bebidas	75
3.	Componentes do sistema de ar comprimido	76
4.	Considerações de projeto do sistema de ar comprimido.....	77
4.1	Geração e tratamento do ar comprimido	77
4.2	Pressão da rede única ou diferenciada	79
4.3	Ar admitido e o volume de ar requerido	79
4.4	Tipos de compressores	80
4.5	Processo de secagem	81
4.5.1	Considerações gerais.....	81
4.5.2	Secagem por ciclo de refrigeração.....	82
4.5.3	Secagem por adsorção.....	83
4.5.4	Considerações finais sobre secagem de ar comprimido	83
4.6	Qualidade do ar comprimido	84
4.7	Pressão final de compressão	85
4.8	Volume do reservatório	85
4.9	Seleção de materiais do sistema de ar comprimido	86
4.10	Isolação acústica.....	86
5.	Manutenção e monitoramento em sistema de ar comprimido	86
5.1	Determinação das perdas	87
5.2	Determinação da quantidade de ar comprimido	87
5.3	Controle dos filtros	88
5.4	Controle microbiológico.....	88
5.5	Controle do ponto de orvalho sob pressão	88
	Referências bibliográficas.....	88

5.	FRIO COMO UTILIDADE NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS.....	89
1.	Introdução.....	89
2.	A refrigeração – uma breve introdução.....	90
2.1	O ciclo ideal de compressão a vapor.....	91
2.2	O ciclo básico de absorção.....	92
2.3	O ciclo real de compressão a vapor.....	93
2.3.1	O evaporador seco e o inundado.....	94
2.3.2	Sistema de refrigeração com trocador de calor e componentes auxiliares.....	95
3.	A refrigeração industrial.....	98
3.1	A montagem em paralelo.....	98
3.2	Compressão de duplo estágio.....	99
3.2.1	O tanque de <i>flash</i> e resfriador intermediário.....	100
3.2.2	O separador de líquido.....	100
3.2.3	O separador de líquido em sistemas multipressão.....	101
3.2.4	O separador de óleo em sistemas multipressão.....	102
3.3	Os sistemas em cascata.....	102
3.4	Os procedimentos operacionais de partida.....	103
3.5	As linhas de sucção, descarga e de líquido – um breve comentário.....	104
4.	A tendência dos gases refrigerantes.....	104
	Referências bibliográficas.....	106
6.	PROJETO DE TANQUES ATMOSFÉRICOS E PRESSURIZADOS COM SISTEMAS DE AGITAÇÃO E SUPERFÍCIE DE TROCA DE CALOR.....	107
1.	A geometria de tanques.....	107
1.1	Introdução.....	107
1.2	O estabelecimento da geometria.....	107
1.3	A relação ótima entre o diâmetro e a altura do costado.....	107
1.4	O volume do tanque.....	108
1.4.1	Toro esférico.....	108
1.4.2	Cônico e toricônico.....	109
1.4.3	Elíptico.....	111
1.5	A determinação da espessura para tanques atmosféricos.....	111
2.	A sustentação de tanques verticais.....	111
2.1	Considerações gerais.....	111
2.2	As solicitações.....	112
2.2.1	O efeito do vento – para tanques <i>outdoor</i>	112
2.2.2	O efeito de abalos sísmicos.....	112
2.2.3	Os momentos de tombamento.....	113
2.3	As reações nas pernas.....	113
2.3.1	Verticais na base.....	113
2.3.2	Verticais no topo.....	113
2.3.3	Na lateral.....	113
2.4	As tensões atuantes.....	114
2.4.1	Axial de compressão (f_a).....	114
2.4.2	De flexão (f_b).....	114
2.4.3	Tensão resultante.....	114

2.5	As sapatas de solo	114
2.5.1	A determinação da espessura da sapata.....	114
2.5.2	O diâmetro do parafuso chumbador	114
2.6	Verificação da solda da perna com o tanque.....	115
2.7	Determinação das tensões localizadas	115
3.	Vasos submetidos à pressão interna.....	115
3.1	Introdução	115
3.2	Asme Seção VIII Divisão I.....	116
3.2.1	Parte UG da Subseção A.....	116
3.3	Cargas que atuam em um vaso	117
3.4	Tensões admissíveis dos materiais	117
3.5	Soldas em vasos de pressão.....	117
3.6	Cálculo de cascos cilíndricos submetidos à pressão interna	118
3.7	Cálculo de tampos submetidos à pressão interna	118
3.7.1	Tampos elípticos	118
3.7.2	Tampos toroesféricos	119
3.7.3	Tampos cônicos.....	119
3.7.4	Tampos toricônicos.....	119
4.	Tanques com sistemas de agitação.....	120
4.1	Introdução	120
4.2	Considerações gerais.....	121
4.3	O nível de agitação	123
4.3.1	CrITÉrios para definir o nível de agitação.....	123
4.4	Principais tipos de agitadores.....	124
4.5	Roteiro de cálculo para agitação com impelidor de quatro pás retas inclinadas a 45°....	124
4.5.1	Velocidade média do produto no tanque (v) em (m/min)	124
4.5.2	Área da seção transversal do tanque (A)	124
4.5.3	Capacidade de deslocamento volumétrico (Q).....	124
4.5.4	Diâmetro do impelidor (d).....	125
4.5.5	Número de bombeamento (N_q) e a rotação do impelidor (N)	125
4.5.6	Número de Reynolds (N_{Rey})	125
4.5.7	Ajuste do número de bombeamento (N_q^*) em função de (N_{Rey}^*).....	126
4.5.8	Recálculo do diâmetro do impelidor (d).....	126
4.5.9	Início e término do processo de interação para convergência	126
4.5.10	Determinação do coeficiente de correção do efeito da viscosidade (f_v)	126
4.5.11	Cálculo da potência requerida (P).....	126
5.	A troca de calor em tanques	127
5.1	Com a jaqueta.....	127
5.2	A serpentina meia-cana	128
5.3	A análise térmica	129
5.3.1	O coeficiente global	130
5.3.2	Operação contínua ou em bateladas.....	130
5.3.3	O coeficiente de película interno ou do lado do produto (h_i)	130
5.3.4	O coeficiente de película externo (h_o)	131
5.3.5	Condensação em serpentina	132
5.4	A temperatura da parede.....	132
5.5	Área de transferência de calor	132

5.5.1	Jaqueta com ou sem defletores de costado.....	132
5.5.2	Serpentina meia-cana.....	132
5.5.3	Serpentina interna.....	132
5.6	A perda de carga (Δp).....	132
5.6.1	Jaqueta integral com defletores de costado e fluxo turbulento.....	132
5.6.2	Jaqueta integral sem defletores de costado.....	133
5.6.3	Serpentina meia-cana.....	133
5.6.4	Serpentina interna.....	133
5.7	A perda de calor para o ambiente.....	133
5.7.1	A determinação dos coeficientes de película.....	133
5.8	Alguns resultados para a serpentina meia-cana.....	133
5.8.1	Algumas conclusões.....	134
6.	Simbologia utilizada (outras estão inseridas no texto).....	135
	Referências bibliográficas.....	136

7. EMBALAGENS PARA BEBIDAS 137

1.	Conceitos básicos do sistema de embalagens de alimentos e bebidas.....	137
2.	Materiais usados em embalagens para bebidas.....	138
2.1	Garrafas de vidro e plástico.....	139
2.1.1	Garrafas de vidro.....	139
2.1.2	Garrafas de plástico.....	140
2.2	Embalagens flexíveis.....	143
2.2.1	Caixinhas/Embalagens flexíveis assépticas.....	143
2.2.2	Bolsas flexíveis laminadas (<i>pouch</i>).....	144
2.2.3	Sistema <i>bag-in-the-box</i>	145
2.3	Embalagens de metal.....	145
3.	Desenvolvimento de embalagens.....	146
3.1	Vidro.....	146
3.2	Metal.....	147
3.2.1	Latas de três peças.....	147
3.2.2	Latas de duas peças.....	148
3.2.3	Parte superior e inferior da lata.....	148
3.3	Plásticos.....	149
3.3.1	Plásticos rígidos.....	149
3.3.2	Plásticos flexíveis.....	150
3.4	Embalagens de cartão.....	152
3.4.1	Caixinhas de cartão a partir de rolos.....	152
3.4.2	Caixinhas a partir de pré-fabricados.....	152
3.5	Aspectos ambientais.....	152
4.	Embalagens ativas e inteligentes.....	153
5.	Migração de compostos da embalagem.....	154
5.1	Legislação brasileira sobre materiais em contato com alimentos.....	156
5.2	Migração global e específica.....	158
6.	Legislação internacional sobre materiais em contato com alimentos e bebidas.....	158
	Referências bibliográficas.....	160

8.	MICROORGANISMOS DETERIORADORES E PATOGÊNICOS EM BEBIDAS.....	163
1.	Introdução	163
2.	Fungos	163
2.1	Características gerais	163
2.2	Reprodução dos fungos.....	164
2.3	Classificação dos fungos.....	164
3.	Bactérias	165
4.	Microrganismos deteriorantes	166
4.1	Vinhos	166
4.1.1	Deterioração por leveduras.....	166
4.1.2	Deterioração por bactérias.....	166
4.1.3	Interação entre bactérias e leveduras	168
4.2	Microrganismos deteriorantes de cerveja.....	168
4.2.1	Deterioração por leveduras selvagens	168
4.2.2	Deterioração por bactérias.....	169
4.3	Microrganismos deteriorantes da sidra	170
4.4	Sucos.....	170
4.4.1	Microrganismos deteriorantes de sucos de frutas	170
4.4.2	Microrganismos deteriorantes de sucos de frutas concentrados.....	171
5.	Microrganismos causadores de doenças presentes em bebidas	172
5.1	Toxinfecções.....	172
5.2	Micotoxinas.....	173
5.2.1	Micotoxinas em sucos de frutas.....	173
5.2.2	Micotoxinas em bebidas alcoólicas	174
5.3	Aminas biogênicas.....	174
6.	Métodos de contagem de leveduras e bactérias	175
6.1	Determinação da contagem total de leveduras usando câmara de contagem.....	175
6.2	Determinação da carga bacteriana e de leveduras por membrana filtrante	176
6.3	Determinação da concentração bactérias e leveduras, por contagem em placa, utilizando meio sólido	177
6.4	Métodos rápidos	178
7.	Melhoramento genético.....	179
	Referências bibliográficas.....	180
9.	ANÁLISE SENSORIAL DE BEBIDAS.....	183
1.	Definindo análise sensorial e seus fundamentos.....	183
1.1.	Estímulo – resposta.....	183
1.2	Fatores que influenciam as avaliações sensoriais.....	186
1.2.1	Efeitos fisiológicos	186
1.2.2	Efeitos psicológicos	186
1.2.3	Fatores que auxiliam os provadores em avaliações sensoriais.....	187
1.3	Preparação e apresentação de amostras em testes sensoriais	187
1.3.1	Preparação	187
1.3.2	Apresentação	188
1.3.3	O laboratório de análise sensorial.....	188
1.3.4.	Seleção de provadores para testes sensoriais	189

2. Métodos sensoriais de diferença.....	189
2.1 Teste de comparação pareada	190
2.2 Teste triangular	193
2.3 Teste de ordenação	195
2.4 Teste de diferença-do-controle ou de comparação múltipla	198
3. Métodos afetivos.....	202
3.1 Locais de aplicação de testes afetivos.....	202
3.2 Preferência e aceitação	202
3.2.1 Teste de comparação pareada – preferência.....	202
3.2.2 Teste de ordenação.....	203
3.2.3 Escala hedônica	203
3.2.4 Escala do ideal (<i>just-about-right</i>).....	207
4. Métodos descritivos.....	208
4.1 Análise descritiva quantitativa	209
4.1.1 Pré-seleção da equipe de provadores.....	209
4.1.2 Desenvolvimento de terminologia descritiva	209
4.1.3 Definição dos atributos e suas referências	210
4.1.4 Seleção da equipe final de provadores	211
4.1.5 Avaliação final	211
Referências bibliográficas.....	212

Parte II

Gestão de processos e produtos

10. INTRODUÇÃO À GESTÃO ORGANIZACIONAL.....	217
1. Introdução.....	217
1.1 Objetivo do sistema de gestão empresarial.....	217
2. Componentes do sistema de gestão empresarial.....	218
2.1 Subsistema institucional	219
2.2 Subsistema gerencial	219
2.3 Subsistema operacional	221
2.4 Subsistema de organização.....	222
2.5 Subsistema de comunicação.....	223
2.6 Subsistema de informação.....	224
2.7 Subsistema humano-comportamental.....	225
Referências bibliográficas.....	226
11. CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO DOS FATORES DE COMPETIÇÃO – FATORES RESTRITIVOS E PROPULSORES.....	227
1. Introdução.....	227
2. Fatores internos essenciais do sucesso no setor de bebidas	227
2.1 Gestão de custos	227
2.2 Gestão de preços.....	228
2.3 Gestão de marcas	229

2.3.1	Mas o que é uma marca?	230
2.3.2	Mas quais são as funções da marca?	230
2.3.3	E qual a importância da gestão da marca?	230
2.4	Gestão logística (gestão de canais)	230
3.	Fatores externos essenciais do sucesso no setor de bebidas.....	231
3.1	Impostos e matérias-primas aumentam os preços das bebidas alcoólicas.....	231
3.2	Cadeia de distribuição – a distribuição enxuta.....	231
3.2.1	Questões comerciais.....	232
3.2.2	Falta de previsões.....	232
3.2.3	Falta de sintonia com o consumidor final.....	232
3.2.4	Dificuldade de gerenciamento das articulações da cadeia de abastecimento.....	232
4.	Sistema integrado de gestão estratégica.....	232
	Referências bibliográficas.....	232

12. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE INVESTIMENTOS PARA A INDÚSTRIA DE BEBIDAS..... 233

1.	Introdução.....	233
2.	Pontos críticos da atividade agroindustrial.....	234
3.	Análise do ambiente econômico	235
4.	Análise de viabilidade econômica.....	239
4.1	Métodos de avaliação de investimento.....	245
5.	Introdução de incertezas e riscos nos critérios de decisão de investimento	250
5.1	Análise de sensibilidade.....	250
5.2	Análise de risco	251
6.	Considerações finais	252
	Referências bibliográficas.....	253

13. MARKETING DE BEBIDAS..... 255

1.	Introdução.....	255
2.	Referencial teórico	256
2.1	<i>Marketing</i> estratégico e a segmentação de mercado	256
2.2	O composto mercadológico	257
2.3	O comportamento do consumidor.....	258
2.3.1	Fatores que influenciam o comportamento do consumidor.....	260
3.	<i>Marketing</i> na indústria de bebidas	260
3.1	<i>Marketing</i> para bebidas alcoólicas	264
3.1.1	Cerveja.....	264
3.1.2	Vinho	271
3.1.3	Cachaça	274
3.2	<i>Marketing</i> para bebidas não alcoólicas	276
3.2.1	Refrigerante	276
3.2.2	Água envasada	280
3.2.3	Suco.....	284
4.	Considerações finais.....	287
	Referências bibliográficas.....	287

14. MERCADO BRASILEIRO DE BEBIDAS	293
1. Introdução.....	293
2. Cerveja	297
3. Refrigerante	300
4. Sucos	301
5. Água mineral.....	305
6. Vinho	308
7. Aguardente	314
8. Água de coco.....	316
9. Bebidas à base de soja	318
10. Considerações finais	319
Referências bibliográficas.....	320
15. LOGÍSTICA NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS	323
1. Concepção logística.....	323
2. Modais de transporte e infraestrutura logística.....	326
3. Transporte de bebidas e suas matérias-primas.....	328
Referências bibliográficas.....	336
16. QUALIDADE NO SETOR DE BEBIDAS	337
1. Definições de qualidade	337
2. Atributos que determinam a qualidade	338
3. Sistemas de proteção de marcas	341
4. Atributos sensoriais.....	345
5. Avaliações dos atributos de qualidade.....	346
Referências bibliográficas.....	347
17. A QUALIDADE DE DESTILADOS DE CANA-DE-AÇÚCAR	351
1. Aguardente e rum.....	351
1.1 Legislação e aspectos gerais.....	351
2. Rum e aguardente de cana-de-açúcar: sua diferenciação.....	353
3. Congêneres, contaminantes e aditivos.....	354
3.1 Congêneres.....	354
3.2 Contaminantes	356
3.2.1 Carbamato de etila ($C_2H_5COONH_2$)	356
3.2.2 Metais	358
3.2.3 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)	360
3.2.4 Dimetilsulfeto (CH_3SCH_3)	362
3.3 Aditivos.....	362
3.3.1 Adição de açúcar: formação de flocos	362
3.3.2 Caramelo	363
4. Aspectos da tipificação.....	363
4.1 Aguardente de alambique x aguardente de coluna.....	363

4.1.1 A certificação	363
5. Envelhecimento.....	364
6. Considerações finais.....	365
Referências bibliográficas.....	366

18. BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO (BPF) E ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE (APPCC) EM INDÚSTRIAS DE BEBIDAS 371

1. Introdução.....	371
1.1 Histórico	371
2. O sistema APPCC	373
2.1 O que é o sistema APPCC?	373
2.2 Por que utilizar o sistema APPCC?	373
2.3 Como utilizar o sistema APPCC?.....	374
3. Pré-requisitos para implantação do sistema APPCC.....	374
3.1 Boas práticas de fabricação – BPF	374
3.2 Implantação das BPF	376
3.2.1 Procedimentos preliminares	376
3.2.2 Etapas da implantação das BPF.....	376
4. Elaboração do plano APPCC.....	377
4.1 Definição dos objetivos	377
4.2 Identificação e organograma da empresa	377
4.3 Descrição do produto e uso esperado.....	378
4.4 Elaboração do fluxograma do processo	378
4.4.1 Descrição do processo – suco pasteurizado de maracujá	378
4.5 Validação do fluxograma de processo	379
4.6 Princípios do APPCC	379
4.6.1 Princípio 1 – análise dos perigos e medidas preventivas.....	379
4.6.2 Princípio 2: identificação dos pontos críticos de controle.....	381
4.6.3 Princípio 3: estabelecimento dos limites críticos.....	381
4.6.4 Princípio 4: estabelecimento dos procedimentos de monitoração	382
4.6.5 Princípio 5: estabelecimento das ações corretivas	382
4.6.6 Princípio 6: estabelecimento dos procedimentos de verificação	383
4.6.7 Princípio 7: estabelecimento dos procedimentos de registros.....	383
4.7 Resumo do plano APPCC – suco pasteurizado de maracujá	385
5. Verificação do sistema APPCC.....	385
Referências bibliográficas.....	385
Anexo 1 – Quadro do resumo do plano APPCC para suco pasteurizado de maracujá	387

19. GERAÇÃO, DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS EM INDÚSTRIA DE BEBIDAS 389

1. Introdução.....	389
2. Efluentes de indústrias de bebidas.....	389
2.1 Tratamento dos efluentes das indústrias de bebidas.....	392
2.1.1 Tratamento preliminar	392

2.1.2 Tratamento primário.....	393
2.1.3 Tratamento secundário	395
2.1.4 Tratamento terciário	399
3. Resíduos sólidos nas indústrias de bebidas.....	401
3.1 Tratamento e disposição dos resíduos sólidos	404
4. Emissão de poluentes gasosos de indústrias de bebidas.....	405
4.1 Aproveitamento das emissões gasosas.....	406
4.2 Tratamento das emissões gasosas	406
5. Considerações finais	406
Referências bibliográficas.....	406

20. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE BEBIDAS 409

1. Introdução.....	409
2. Legislação resumida	409
2.1 Decreto 99.066/90 e Decreto 6.871/09.....	410
2.1.1 Definições.....	410
2.1.2 Atividades administrativas	411
2.1.3 Registros de estabelecimentos e bebidas	412
2.1.4 Padronização de bebidas	412
2.1.5 Controle de estabelecimentos.....	414
2.1.6 Rotulagem de bebidas	414
2.1.7 Inspeção e fiscalização.....	415
2.1.8 Infrações e sanções administrativas	415
2.2 Instrução normativa 05, de 31 de março de 2000	416
2.2.1 Definições.....	416
2.2.2 Requisitos gerais dos estabelecimentos produtores de bebida	416
2.2.3 Requisitos de higiene.....	419
Referências bibliográficas.....	429

21. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO SEGMENTO DE BEBIDAS 431

1. Introdução.....	431
2. Legislação ambiental constitucional aplicável ao segmento de bebidas.....	433
2.1 Constituição da República Federativa do Brasil (Carta Magna)	434
2.2 Constituição do Estado de São Paulo	440
3. Legislação ambiental infraconstitucional aplicável ao segmento de bebidas.....	441
3.1 Lei Estadual n. 997, de 31 de maio de 1976	441
3.1.1 Licenciamento ambiental de empreendimentos do segmento de bebidas enquadrados como “fonte de poluição”.....	444
3.2 Decreto n. 8.468, de 8 de setembro de 1976	448
3.2.1 Poluição das águas.....	448
3.2.2 Poluição do ar	449
3.2.3 Da poluição do solo.....	451
3.2.4 Fiscalização	452
4. Comentários finais	452
Referências bibliográficas.....	453

Parte III

Novas tecnologias e novos produtos

22.	NOVAS TECNOLOGIAS PARA PRESERVAÇÃO DE BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS.....	457
1.	Introdução.....	457
2.	Aquecimento ôhmico (AO).....	458
3.	Ondas de rádio (OR) e micro-ondas (MO).....	459
4.	Alta pressão hidrostática (APH).....	461
5.	Campo elétrico pulsado (CEP).....	465
6.	Ultrassom de alta intensidade.....	466
7.	Conclusões.....	471
	Referências bibliográficas.....	471
23.	CERVEJA A PARTIR DE BANANA COMO ADJUNTO DE MALTE.....	475
1.	Introdução.....	475
1.1	Legislação.....	476
1.2	Composição e valor nutricional.....	476
2.	Matérias-primas.....	476
2.1	A banana: uma alternativa como adjunto e aromatizante natural de cervejas.....	476
3.	Microbiologia.....	478
4.	Processamento.....	478
4.1	Moagem do malte.....	479
4.2	Preparo do adjunto de banana.....	479
4.3	Elaboração do suco de banana.....	479
4.4	Mosturação com a banana.....	480
4.5	Filtração do mosto com banana.....	480
4.6	Fervura do mosto filtrado.....	480
4.7	Tratamento do mosto.....	481
4.8	Fermentação do mosto.....	481
4.9	Maturação e acabamento.....	484
5.	Guarda e conservação.....	485
	Referências bibliográficas.....	485
24.	CERVEJA PRODUZIDA COM ARROZ PRETO COMO ADJUNTO DE MALTE ...	487
1.	Introdução.....	487
1.1	Contribuição dos compostos fenólicos.....	488
2.	Matérias-primas.....	488
2.1	Arroz preto (<i>Oryza sativa</i>).....	488
3.	Processamento.....	489
3.1	Testes para determinação da proporção de arroz preto e malte.....	489
3.2	Matérias-primas.....	490
3.3	Mosturação.....	490
3.4	Filtração.....	491
3.5	Fervura.....	491

3.6	Análise do mosto	491
3.7	Fermentação.....	492
3.8	Análise da cerveja e da fermentação.....	492
3.9	Clarificação	494
4.	Análise sensorial.....	494
5.	Projeção futura	494
	Referências bibliográficas.....	496
25.	PRODUÇÃO DA AGUARDENTE DE “LIQUOR” DE LARANJA, UTILIZANDO O FERMENTO DE DESCARTE DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA	497
1.	Introdução.....	497
2.	Processo de obtenção das aguardentes de “liquor” de laranja	499
3.	Aceitação das aguardentes de “liquor” de laranja	503
4.	Análise descritiva quantitativa.....	504
5.	Conclusões.....	510
	Referências bibliográficas.....	510
26.	BEBIDAS FERMENTADAS E DESTILADAS A PARTIR DO SORO DE LEITE	513
1.	Introdução.....	513
2.	Soro de leite.....	513
3.	O soro como poluente	514
4.	Aproveitamento do soro e seus derivados	515
5.	Utilização do soro de leite na elaboração de bebidas alcoólicas	516
5.1	Bebidas fermentadas.....	516
5.2	Bebidas destiladas.....	517
	Referências bibliográficas.....	521
27.	BEBIDAS MISTAS A PARTIR DE FRUTAS DA AMAZÔNIA.....	523
1.	Introdução.....	523
2.	Mercado e legislação.....	524
2.1	Mercado	524
2.2	Legislação Brasileira	524
3.	Processos de obtenção	525
3.1	Bebidas mistas como fonte de vitamina C	527
3.1.1	Bebida mista de camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>) e graviola (<i>Annona muricata</i>) ..	527
3.1.2	Bebida mista de cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>), guaraná (<i>Paullinia cupana</i>) e camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>)	529
3.1.3	Bebida mista de açaí (<i>Euterpe oleracea</i>) e camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>)	530
3.2	Bebidas mistas como fontes de carotenoides.....	531
3.2.1	Suco tropical misto de acerola (<i>Malpighia emarginata D.C.</i>) e pitanga (<i>Eugenia uniflora L.</i>)	532
3.2.2	Suco tropical misto de cajá (<i>Spondias mombin</i>) e umbu (<i>Spondias tuberosa</i>)....	533
3.2.3	Suco tropical misto de taperebá (<i>Spondias mombin</i>), maracujá-amarelo (<i>Passiflora edulis</i>) e acerola (<i>Malpighia emarginata</i>).....	534
	Referências bibliográficas.....	535

Parte I

Aspectos da produção



Água como utilidade na indústria de bebidas

ANA CLÁUDIA BARANA
URGEL DE ALMEIDA LIMA
GIOVANA KÁTIE WIECHETECK
MARTA HELENA FILLET SPOTO

1. INTRODUÇÃO

Para atender à demanda crescente de mercado, as indústrias aumentam seu volume de produção e, conseqüentemente, o consumo de água. Quase todos os processos produtivos utilizam água em alguma etapa da fabricação. A água é um recurso natural limitado e o seu uso indiscriminado já levou algumas regiões do planeta a um estado de calamidade, porque não há volume suficiente para satisfazer às necessidades humanas básicas diárias como matar a sede, cozinhar e tomar banho. Para tentar reverter essa situação, tem sido valorizado o crescimento econômico sustentável, com a utilização mínima de recursos naturais não renováveis e a valorização de práticas de reciclagem e reúso.

O uso sustentável da água tem ganhado força em qualquer setor da economia. O mercado está criando estímulos para que as empresas invistam na preservação do meio ambiente. O uso racional da água pode significar aumento dos lucros e decidir pela permanência da empresa num mercado tão concorrido.

Apesar de três quartas partes do planeta serem cobertas de água, apenas pequena parte é composta de água-doce de fácil acesso. Do volume total de água, 95,1% é formado por águas salgadas e 4,9% por doces, dos quais 4,7% se encontram nas geleiras ou locais

subterrâneos de difícil acesso, e o restante, próximo de 0,2%, ocorre em lagos, fontes, nascentes ou em lençóis subterrâneos disponíveis para uso do homem.

Conhecendo-se o balanço hídrico de uma empresa e as necessidades específicas de qualidade da água para cada etapa, é possível se estabelecer uma política de redução do consumo e gastos com tratamento e disposição final da mesma.

1.1 Classificação e características das águas

As águas podem ser superficiais, subterrâneas, salgadas, salinas, alcalinas, minerais e naturais, e essas condições podem determinar as exigências para seu uso na alimentação, em indústrias, em farmácia, para higienização, lazer e transporte.

Ao falar em características das águas, está implícita a referência à sua qualidade, sendo importante salientar a preocupação do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama com o enquadramento dos corpos d'água superficiais e com as diretrizes ambientais para sua proteção e preservação. A resolução Conama n. 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A classificação das águas por padrões específicos permite criar métodos para avaliar sua qualidade, orientar seus usos e controlar o lançamento de poluentes que desvirtuam suas características. Ela contribui para o enquadramento dos corpos d'água nas condições de qualidade para atender às necessidades da comunidade, ou seja, a saúde, o bem-estar humano, o equilíbrio ecológico aquático e para atender às exigências industriais. O uso industrial e sua indefectível criação de despejos não podem deteriorar a qualidade das águas e conduzir a prejuízos para a vida aquática, para a saúde pública e para as próprias indústrias que dela fazem uso.

As águas são classificadas em *águas doces*, com salinidade igual ou inferior a 0,05%; *águas salobras*, com salinidade superior a 0,05% e inferior a 3% e *águas salinas*, com salinidade igual ou superior a 3,0%. As águas doces, salobras e salinas são classificadas em função da qualidade requerida para seus usos preponderantes atuais e futuros em treze classes (MACÊDO, 2007).

As **águas doces** se enquadram em cinco classes, a primeira denominada de *Especial*, que inclui as destinadas ao abastecimento doméstico com desinfecção, à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

As águas da *Classe 1* são destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção de comunidades aquáticas, recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho, conforme a Resolução Conama n. 274, de 2000), irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que crescem rentes ao solo e normalmente são ingeridas cruas sem remoção de película, e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

As águas da *Classe 2*, conforme a mesma Resolução, são destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; também à proteção de comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer com os quais o público possa vir a ter contato direto e à aquicultura e atividade de pesca.

As águas da *Classe 3* são destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de plantas arbóreas, cerea-

líferas e forrageiras, à dessedentação de animais, à pesca amadora e à recreação de contato secundário.

As águas doces da *Classe 4* se destinam à navegação, à harmonia paisagística e a outros usos menos exigentes.

As **águas salinas** se enquadram em quatro classes, a *Classe Especial* destinada à preservação de ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção ambiental e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

As águas salinas *Classe 1* destinam-se à recreação de contato primário, conforme a Resolução Conama n. 274, de 2000, à proteção de comunidades aquáticas, à aquicultura e atividade de pesca. As águas salinas *Classe 2* são destinadas à pesca amadora e à recreação de contato secundário, e a *Classe 3* destinada à navegação e à harmonia paisagística.

As **águas salobras** compreendem a *Classe Especial*, destinada à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral e à preservação do equilíbrio natural de comunidades aquáticas.

As águas salobras *Classe 1* destinam-se à recreação de contato primário, conforme a Resolução Conama n. 274, de 2000, para proteção de comunidades aquáticas, aquicultura e atividade de pesca, ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; também, à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

As águas salobras *Classe 2* são destinadas à pesca amadora e à recreação de contato secundário, e a *Classe 3*, à navegação e harmonia paisagística.

Em vigor desde 3 de abril de 2008, a Resolução Conama n. 396 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, que as subdivide em seis classes. As águas subterrâneas *Classe Especial* são destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuem diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial. As águas *Classe 1* são as que não apresentam alteração de sua qualidade por atividades antrópicas e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes, devido às suas características hidrogeoquímicas

naturais. As águas *Classe 2* são as que não apresentam alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais. As águas *Classe 3* são águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais. As águas subterrâneas *Classe 4* são águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente podem ser utilizadas sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo. As águas *Classe 5* são as que podem estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Nas indústrias, há consumo de água para mais de uma finalidade. Isso exige farto fornecimento de água potável e de outras classes para atender aos numerosos setores de uma fábrica, tais como: recepção de matéria-prima, guaritas para segurança e orientação, escritórios para administração, laboratório de controle de qualidade da matéria-prima, produtos finais, derivados e subprodutos, seção de expedição, setores de geração de eletricidade, de energia térmica, oficinas de manutenção dos equipamentos, maquinaria e veículos, seção de preparo da matéria-prima, a manufatura propriamente dita de produtos, derivados e subprodutos, setor de embalagem e expedição.

Toda água consumida pela empresa que não é incorporada ao produto ou evaporada é transformada em efluente. Como consequência, a manufatura gera resíduos de diferentes naturezas, sólidos e líquidos, que devem ser eliminados. Sua eliminação exige tratamentos específicos para cada um, incluindo os de transformação dos despejos em resíduos inócuos ao ambiente, seja solo ou corpos d'água. Dependendo dos contaminantes, o processo de tratamento desse efluente pode se tornar mais caro que a fabricação do produto principal da empresa.

A análise das diferentes atividades de uma indústria permite identificar as diferentes classes de água necessárias nas diferentes operações. Para qualquer finalidade, a água deve estar compreendida nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos estabelecidos pela Portaria n. 518, de 2004, do Ministério da Saúde, que versa sobre os procedimentos

e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Tabela 1). A mesma portaria define água potável como sendo a água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde.

Tabela 1 Padrão de aceitação para consumo humano.

Parâmetro	Valores máximos permitidos
Alumínio (mg L ⁻¹)	0,2
Amônia (como NH ₃) (mg L ⁻¹)	1,5
Cloreto (mg L ⁻¹)	250
Cor aparente (uH)	15
Dureza (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	500
Etilbenzeno (mg L ⁻¹)	0,2
Ferro (mg L ⁻¹)	0,3
Manganês (mg L ⁻¹)	0,1
Monoclorobenzeno (mg L ⁻¹)	0,12
Odor e gosto	Não objetável
Sódio (mg L ⁻¹)	200
Sólidos dissolvidos totais (mg L ⁻¹)	1.000
Sulfato (mg L ⁻¹)	250
Sulfeto de hidrogênio (mg L ⁻¹)	0,05
Surfactantes (mg L ⁻¹)	0,5
Tolueno (mg L ⁻¹)	0,17
Turbidez (UT)	5
Zinco (mg L ⁻¹)	5
Xileno (mg L ⁻¹)	0,3

Fonte: Brasil (2004).

O padrão de aceitação para consumo humano recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 e que o teor máximo de cloro livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg L⁻¹.

Segundo a Portaria n. 518 de 2004, os padrões microbiológicos de potabilidade de água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, entre outras, é de ausência de *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes (45 °C) em 100 mL.

As águas naturais superficiais ou profundas contêm minerais em dissolução que provêm dos solos

onde eram contidas ou por onde escoaram. Podem estar presentes os que não oferecem significação sanitária e os que são contaminantes e prejudiciais, razões pelas quais as águas têm de ser analisadas quando da instalação de uma indústria de alimentos e bebidas.

1.2 Contaminantes

Arsênio, cádmio, chumbo, cianeto, cobre, cromo, mercúrio e selênio são considerados prejudiciais ou tóxicos e sua presença pode ser tolerada em teores muito baixos.

O arsênio não é elemento normalmente encontrado nas águas naturais, e sua eventual ocorrência é devida à contaminação com inseticidas, herbicidas, tintas e corantes. Altamente tóxico, causa envenenamento pela ingestão e seu efeito é cumulativo no organismo humano.

O cádmio é muito tóxico quando ingerido com alimentos e bebidas. Como não ocorre em águas naturais, sua presença decorre de poluição industrial.

O chumbo é elemento não natural nas águas e, em geral, decorre da poluição industrial, principalmente de galvanoplastia e fabricação de baterias. De efeito cumulativo, causa intoxicação denominada saturnismo.

O cianeto é fortemente tóxico e, em teor de 1 mg L^{-1} , causa a morte de peixes em minutos. Quando é detectado em águas, é consequência de poluição industrial.

O cromo, cujos sais são tóxicos, não ocorre em águas naturais, e sua presença decorre do lançamento de despejos aos corpos d'água por indústrias de galvanoplastia, tintas e explosivos.

O mercúrio é estranho aos mananciais, e sua incidência nos corpos d'água decorre de contaminação causada pela industrialização de diversos produtos, como lâmpadas, células eletrolíticas e na extração de ouro. A intoxicação por ele causa lesões neurológicas e morte, ainda que a ingestão tenha sido feita indiretamente, pelo consumo de peixes contaminados, por exemplo.

O selênio é tóxico ao organismo humano e ao gado que vem a sofrer doença alcalina, de efeitos permanentes. Considerado carcinogênico, também estimula a cárie dentária. Sua presença nas águas decorre de lançamentos de efluentes.

1.3 Elementos não considerados prejudiciais

De maneira geral, a presença de sais na água não é prejudicial ao processamento de alimentos e

bebidas, porém sua ausência pode afetá-lo. A presença de alguns elementos, se não é benéfica, não causa prejuízos à saúde, embora alguns, em função do seu teor, possam criar dificuldades no processamento.

O bário pode ocorrer naturalmente em águas minerais e é aceito em dose de até 1 mg L^{-1} .

O cálcio e o magnésio causam a dureza da água, mas não têm de *per si* significância sanitária, isto é, não são prejudiciais à saúde. Entretanto, podem afetar o processamento industrial, por formar incrustações em tubulações, trocadores de calor e geradores de vapor – reduzindo a transferência de calor, causar corrosão e entupimentos que podem terminar em explosão no equipamento afetado. O zinco, estrôncio, ferro e alumínio também podem contribuir para a dureza da água. A dureza nas águas pode ser permanente, se o cálcio e o magnésio estiverem associados com sulfatos ou cloretos, e temporária, se associados ao bicarbonato.

Cloretos, que ocorrem em baixos teores em águas naturais, são tolerados em até $7,5 \text{ mg L}^{-1}$ em poços artesianos. Valores mais altos podem caracterizar lançamentos de esgotos sanitários. O Ministério da Saúde admite valor máximo de 250 mg L^{-1} (Tabela 1).

Flúor em águas naturais é considerado normal em até 1 mg L^{-1} . Atualmente se considera que o excesso pode prejudicar a dentição.

Ferro e manganês associados são encontrados em águas naturais. O manganês possui sabor amargo, adstringente, confere turvação e coloração amarelada à água. Os sais ferrosos, muito solúveis, são reduzidos ou eliminados facilmente. Fontes e mananciais podem apresentar conteúdo superior a $0,3 \text{ mg}$ de Fe e $0,1 \text{ mg}$ de Mn por litro, valores máximos permitidos pelo Conama e Ministério da Saúde, mas suscetíveis de redução por tratamento simples.

O fósforo é encontrado naturalmente nas águas como ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico, mas não é prejudicial à saúde humana, embora concorra para a proliferação de algas, eutrofização de um corpo d'água, e contribua para o crescimento bacteriano responsável pela estabilização da matéria orgânica presente.

Nitratos e nitritos, que são encontrados em baixos teores em águas naturais, quando presentes em elevados teores, assim como amônia, identificam poluição por despejos de esgotos. A forma como o nitrogênio é encontrado, se amônia, nitrito ou nitrato, também indica a idade da poluição. A presença de

nitrogênio amoniacal indica poluição mais recente e a de nitritos e nitratos menos recente.

Zinco, que não é de ocorrência universal, é fracamente tóxico e, acima de 5 mg L^{-1} , altera o sabor.

O oxigênio deve ser encontrado dissolvido (OD) nas águas naturais e seu teor é indicativo sanitário importante, sobretudo do grau de poluição. Excesso de matéria orgânica num corpo d'água provoca consumo excessivo de OD pelos organismos aeróbios que se alimentam desse substrato. Os corpos d'água apresentam teores de OD que variam de acordo com as condições do ambiente, como temperatura, altitude, teor de matéria orgânica, taxa de reoxigenação. Água em movimento (cursos) em geral apresenta teores mais elevados do que água parada (espelhos), por causa do efeito oxigenador do movimento, como as quedas, corredeiras, vento e outros que facilitam a dissolução do oxigênio. As águas subterrâneas podem não apresentar oxigênio dissolvido ou muito pouco, porque não são afetadas pela movimentação da massa de água, e esse fato não indica poluição. Temperatura e presença de sais afetam a dissolução do gás na água.

1.4 Presença de matéria orgânica e microrganismos

A ocorrência de matéria orgânica nas águas é sinal de contaminação e pode diminuir a capacidade de autodepuração de um corpo d'água.

Nas águas naturais superficiais há uma flora microbiana composta de leveduras, bolores e bactérias não prejudiciais, tanto como a presença de plâncton, vermes e microcrustáceos.

Nos corpos d'água é comum ocorrer a presença de material orgânico de diferentes origens, tais como organismos em decomposição e compostos orgânicos de uso em agricultura e criação.

Os elementos encontrados em dissolução nas águas naturais não poluídas contribuem para o desenvolvimento de microrganismos que compõem o

plâncton (protozoários e algas) e de bactérias. A poluição concorre para o desenvolvimento de algas e microrganismos, incluindo os patogênicos.

Pesticidas e herbicidas são comumente encontrados em águas superficiais, carregados pelas chuvas e águas de lavagem, originados das aplicações contra pragas e doenças agrícolas, vermes e insetos que fustigam os animais ou o homem. As águas subterrâneas são menos sujeitas porque há certa dificuldade na infiltração desses agentes.

2 ÁGUA COMO UTILIDADE

2.1 Água para caldeiras

Não basta encher um balão de caldeira com água e aquecê-la para ter bom desempenho. A qualidade da água é muito importante, porque afeta o uso e manutenção dos geradores de vapor, construídos de aço carbono, e, portanto, sujeitos à ação química da água e dos elementos que ela possa conter em dissolução. Além da reatividade dos elementos que a torna impura, há o efeito eletroquímico que contribui para a corrosão.

As incrustações e a corrosão são dois fatores a serem considerados no funcionamento e na manutenção das caldeiras.

Uma boa definição de qualidade de água para caldeiras é a de Powell (1966), assim traduzida: “Água perfeita para caldeira é a que não deposite substâncias incrustantes, não corroa o metal das caldeiras ou seus acessórios e não ocasione arrastes nem espuma”.

Água com essas características não se encontra com facilidade, motivo por que a água usada nos geradores de vapor tem de ser purificada artificialmente para eliminar os elementos prejudiciais, ou para transformá-los em produtos menos danosos.

A Tabela 2 resume as impurezas mais comuns nas águas, seu efeito nas caldeiras e o tratamento adequado.

Tabela 2 Impurezas encontradas comumente nas águas, efeitos nas caldeiras e tratamentos para sua remoção.

Constituinte	Origem	Efeito	Tratamento para remoção
Sólidos suspensos	Arraste superficial, resíduos industriais	Arrastes, espumas, lodos, incrustações	Sedimentação, coagulação, filtração, evaporação
Sílica	Depósitos minerais	Incrustação	Sedimentação, coagulação, filtração, evaporação, intercâmbio iônico
Carbonato de cálcio	Depósitos minerais	Incrustação	Abrandamento com produtos químicos, intercâmbio iônico, evaporação
Bicarbonato de cálcio	Depósitos minerais	Incrustação	Abrandamento por aquecimento, intercâmbio iônico, evaporação
Sulfato de cálcio	Depósitos minerais	Incrustação	Abrandamento com produtos químicos, intercâmbio iônico, evaporação
Cloreto de cálcio	Depósitos minerais	Incrustação	Abrandamento com produtos químicos, intercâmbio iônico, evaporação
Carbonato de magnésio	Depósitos minerais	Incrustação	Abrandamento com produtos químicos, intercâmbio iônico, evaporação
Bicarbonato de magnésio	Depósitos minerais	Incrustação	Abrandamento com produtos químicos, intercâmbio iônico, evaporação
Cloreto de magnésio	Depósitos minerais	Incrustação	Abrandamento com produtos químicos, intercâmbio iônico, evaporação
Ácidos livres (HCl, H ₂ SO ₄)	Arraste em minas, resíduos industriais	Corrosão	Neutralização seguida de abrandamento ou evaporação
Cloreto de sódio	Águas negras, resíduos industriais, depósitos minerais	Inerte, eventualmente corrosivo	Evaporação ou desmineralização por intercâmbio iônico
Carbonato de sódio	Depósitos minerais	Arrastes, espuma, fragilização	Evaporação ou desmineralização por intercâmbio iônico
Bicarbonato de sódio	Depósitos minerais	Arrastes, espuma, fragilização	Evaporação ou desmineralização por intercâmbio iônico
Ácido carbônico	Depósitos minerais, absorção atmosférica, decomposição de matéria orgânica	Corrosão	Desaeração
Oxigênio	Absorção atmosférica	Corrosão	Desaeração
Graxas e óleos	Resíduos minerais	Corrosão, arrastes, depósitos, espuma	Coagulação, filtração, evaporação
Matéria orgânica e águas negras	Resíduos domésticos e industriais	Corrosão, arrastes, depósitos, espuma	Coagulação, filtração, evaporação

Fonte: Adaptada de Powell (1966).

Tabela 3 Característica de águas para caldeiras de acordo com a pressão de trabalho.

Pressão em psi	pH	Alcalinidade (mg L ⁻¹)	NaOH (mg L ⁻¹)	Na ₂ SO ₃ (mg L ⁻¹)	Na ₂ PO ₄ (mgPO ₃ /L)	SiO ₂ (mg L ⁻¹)*	Sólidos em solução (mg L ⁻¹)*
50 – 100	11 – 12	200 – 500	200 – 300	40 – 50	40 – 50	250	3000
100 – 400	10,5 – 12	100 – 300	150 – 200	30 – 50	30 – 50	200	3000
400 – 600	10 – 11,5	< 300	50 – 100	20 – 40	20 – 40	50	2500
600 – 750	10 – 11	< 200	25 – 50	–	5 – 10	10	2000

* Valores máximos.

Fonte: Macêdo (2007).

2.1.1 Corrosão

A corrosão dos metais ferrosos e não ferrosos é muito grande na indústria em geral e deve ser muito bem observada no que tange às caldeiras. Não é possível eliminá-la completamente, mas é possível reduzi-la pela manutenção cuidadosa do metal por proteção catódica, por proteção das superfícies, por controle das substâncias que entram em contato com ele e seleção de materiais a usar em condições específicas (POWELL, 1966). A resistência à corrosão depende da composição do metal.

Nas caldeiras e acessórios, as pressões e temperaturas altas influem na aceleração da corrosão. Há várias teorias sobre sua formação, baseadas na presença de ácidos, formação de peróxidos, de hidróxido coloidal e em reações eletroquímicas.

A corrosão ocorre pelo contato direto com a água ou sob uma incrustação existente, embora uma película incrustante possa proteger o metal. Fissuras ou perfurações microscópicas facilitam o contato da água com o metal que é corroído lenta e imperceptivelmente. Como processo eletroquímico, a corrosão ocorre pela diferença de potencial entre dois metais ou partes do mesmo metal. A diferença de potencial causa a passagem de corrente elétrica pelo metal, provocando reações catódicas. A corrosão das caldeiras pode ocorrer também externamente pelo contato com os gases da combustão.

São vários os tipos de corrosão: alveolar, intergranular, seletiva, galvânica, fragilidade cáustica, por pite, fadiga, esfoliação, por sulfatos, ação do oxigênio dissolvido, pelo sulfeto de hidrogênio, por dióxido de carbono, amônia, cloro, sais dissolvidos e outros (MACÊDO, 2007).

A qualidade da água não é fundamental apenas para as caldeiras, mas também para as tubulações de condução do vapor e nos aparelhos de aquecimento, condensação e resfriamento.

2.1.2 Incrustações

A sedimentação de sólidos no interior das caldeiras durante a produção de vapor causa o acúmulo de lodos e formação de incrustações. O lodo leve se acumula no balão de lodo no fundo dos balões de água e dali é eliminado por purgas periódicas da caldeira.

A permanência do lodo causa a sua deposição permanente e a adesão às superfícies metálicas de material mineral, ou associando material orgânico e mineral em camada contínua e sólida, às vezes cristalina e de difícil remoção. Depositado no interior

dos tubos de água, reduzem, ou mesmo fecham, a luz do conduto e reduzem a troca térmica e a eficiência da caldeira.

As águas duras devem ser submetidas a tratamentos específicos para transformá-las em água potável para todo uso (Tabela 4).

Tabela 4 Classificação das águas em relação à dureza.

Classificação	Teor de carbonato de cálcio
Mole	Menos de 50 mg L ⁻¹ de CaCO ₃
Dureza moderada	Entre 50 e 150 mg L ⁻¹ de CaCO ₃
Dura	Entre 150 e 300 mg L ⁻¹ de CaCO ₃
Muito dura	Acima de 300 mg L ⁻¹ de CaCO ₃

Fonte: Adaptada de Macêdo (2001).

2.2 Água de resfriamento

Água de resfriamento é a utilizada para abaixamento da temperatura ao final de uma operação unitária que envolve calor.

A recirculação da água se impõe pela necessidade de suprir a demanda cada vez maior para as necessidades biológicas da população e para as atividades industriais em geral.

Entre os métodos de reciclagem, deve-se dar atenção especial ao resfriamento da água usada nos diferentes processos; entre eles, a condensação de água evaporada ou de produção de vácuo conjugada com a condensação. São milhões de metros cúbicos de água que executam a operação e retornam aos espelhos de onde provieram, ou aos cursos d'água. Em ambos, a condensação gera água mais quente do que a usada para a operação.

O resfriamento se diferencia em sistema aberto, semiaberto e fechado.

O primeiro exige disponibilidade de grande área e de grande volume de água com boa qualidade e temperatura que se considera baixa. A água é recalçada da fonte para um trocador de calor e restituída à fonte para novos usos. O sistema é inconveniente; aquece o recurso hídrico e restringe o tratamento químico pelos altos custos.

Exemplo de sistema aberto é o que usa aspersores para resfriar a água em contato com o ar atmosférico, por pulverização e queda sobre espelho d'água na forma de chuva fina. Sua eficiência é limitada, pois depende da existência de grande área livre e da ocorrência de ventos, e as perdas são grandes.

O sistema semiaberto é usado quando é necessária grande vazão de água e sua disponibilidade é limitada. Depois de passar pelo trocador de calor, a água de resfriamento deve voltar à fonte hídrica, passando antes por redução da temperatura através de uma torre de resfriamento.

Em análise simplista, as torres e aspersores são trocadores de calor, sujeitos às condições de condutividade térmica no local, dentro de padrões específicos.

Numa torre de resfriamento, a água aquecida é enviada para o topo, onde é uniformemente distribuída por toda a área de contato, e desce para a base por meio de calhas, dispositivo de cascata ou através de um leito de enchimento denominado de colmeia. O resfriamento é feito pela circulação natural do ar ou por circulação forçada em contracorrente com a água a ser resfriada.

O resfriamento se dá por processo evaporativo e por transferência de calor. A evaporação causa queda de temperatura ao mesmo tempo em que há troca térmica entre a água e o ar.

A redução da temperatura varia de acordo com o ponto de orvalho no ambiente (ponto em que o vapor-d'água presente no ar está prestes a condensar). Quanto mais baixo o ponto de orvalho, maior o diferencial de temperatura entre a água que entra na torre e a que sai. Para bom desempenho, além do maior diferencial de temperatura, o contato com o ar deve ser o mais uniforme possível.

Há perdas por evaporação da ordem de 1,4% da água de circulação a cada gradiente térmico de 10 °C (MACÊDO, 2007).

Quando há torre de resfriamento, é necessário familiarizar com termos usuais, como os que seguem: *blow-down*, ou drenagem na base da torre, *respingo*, ou perda de água sob a forma de névoa levada pelo vento, e *make-up*, ou adição de água na torre para repor a que se perde por evaporação.

A água é drenada na base para reduzir o acúmulo de contaminantes na água circulante, caracterizados por sólidos em solução. Drenando e repondo água nova, pode ser mantida a concentração de sólidos em solução, contribuindo para reduzir a formação de incrustações na torre, condensadores e trocadores de calor.

A diminuição do respingo pelo uso de dispositivos específicos conserva a água e os produtos químicos e melhora a eficiência da operação. A reposição de água afeta a sua qualidade no sistema.

Nos sistemas fechados de resfriamento, a água recircula através de um trocador de calor e resfria-se

em circuito fechado com outro trocador. Este sistema não é evaporativo e a perda de água é mínima.

2.2.1 Incrustações e contaminações

Da mesma forma que as águas de caldeiras, as de resfriamento causam danos como corrosão, incrustação e contaminação microbiológica.

Ocorre acúmulo de material na superfície de troca térmica, depósitos que interferem na troca de calor. Denominado tecnicamente de *fouling*, o depósito pode ser inorgânico, orgânico e biológico.

O primeiro é causado por poeira da atmosfera, produtos de corrosão, por depósitos de óxidos de ferro, lama de fosfato de cálcio, incrustações de carbonatos e de sulfato de cálcio.

O *fouling* orgânico se caracteriza por depósitos de composição química variada e produtos oriundos de vazamentos durante o processo.

A incrustação microbiológica é formada pelo crescimento de algas, fungos e bactérias e se caracteriza por ser um material gelatinoso que adere às superfícies (MACÊDO, 2007).

As torres e os aspersores são trocadores de calor onde “a velocidade de transferência é igual ao produto de um coeficiente de transferência, área de contato e a diferença de potencial”.

A relação de transferência de calor em equipamento sujo é menor do que num equipamento limpo. Se a espessura da incrustação e a sua condutividade térmica são conhecidas, a resistência da incrustação pode ser computada como se fosse em paredes de tubos. Em operação, os trocadores ficam sujos, *fouled*, e devem ser limpos para remover os depósitos.

2.3 Água para limpeza e sanitização

Limpeza é a operação de eliminação de impurezas e sujidades que se acumulam ou aderem sobre superfícies, no exterior ou no interior de equipamentos e acessórios.

A água pode ser usada apenas para limpeza ou de forma mais ampla para higienização, que compreende a eliminação de impurezas, sujidades e microrganismos, com associação de detergentes e sanificantes.

Na simples limpeza, podem ser usadas águas naturais ou de chuva filtradas ou sumariamente tratadas, para lavagem de pisos externos ou internos, de veículos e para uso sanitário.

Para limpeza e sanitização, a característica química da água (pH, acidez, alcalinidade e composição mineral) determina o tipo de detergente e do sanificante a ser usado.

3. O CONSUMO SUSTENTÁVEL DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

O aumento populacional e industrial resultou numa situação em que a demanda por água de boa qualidade é maior que a oferta. A utilização de instrumentos regulatórios e econômicos, como a cobrança pelo uso dos recursos hídricos instituída pela Lei Federal de Recursos Hídricos n. 9.433, de 08/01/1997, e publicada no Diário Oficial da União – DOU em 09/01/1997, vem incentivar o emprego de tecnologias sustentáveis, pois tem por objetivo a redução do consumo de água e consequente geração de efluentes. Com a lei, o planejamento do uso da água deixou de ser feito em função de interesses políticos e passou a considerar as necessidades das gerações futuras.

A indústria de bebidas utiliza grande quantidade de água, cujo consumo e distribuição pelas áreas da fábrica dependem de diversos fatores, entre eles o tipo de vasilhame utilizado e a tecnologia empregada para limpeza.

A necessidade de se preservar a água tem feito crescer a prática de se contabilizar as “pegadas de água” (*water footprint*) de indivíduos, produtos, países ou empresas. “Pegadas de água” é um indicador que contabiliza toda a água consumida direta ou indiretamente por um consumidor ou sistema de produção. Por essa prática, para se produzir um litro de refrigerante, chega a se contabilizar 500 litros de água, pois se considera a água usada para se produzir todos os insumos do refrigerante, como o açúcar, por exemplo. Para se reduzir as “pegadas de água”, é necessário reduzir o consumo desse bem, modificando o processo e empregando-se técnicas de reúso.

As empresas têm trabalhado no sentido de diminuir o consumo de água. A Ambev (Companhia de Bebidas das Américas) utilizou, em média, nas unidades de suas empresas, no ano de 2007, 1,71 litros de água para cada litro de refrigerante produzido. Em uma das filiais, conseguiu-se economia ainda maior, 1,25 litros de água/litro de refrigerante. Para atingir essas metas, a Ambev instalou medidores em cada etapa do processo produtivo e determinou para cada área de trabalho uma meta de consumo. Além disso, toda água excedente é reaproveitada em atividades que não envolvem a elaboração de produto (AMBEV, 2009).

O uso de medidas de produção mais limpa (P+L) que visa diminuir a quantidade de água utilizada na empresa e, conseqüentemente, a redução na geração de efluentes, é sempre bem-vindo, em

função das vantagens econômicas e ambientais dele decorrente.

Para a implantação de um programa de redução de geração de efluentes, deve-se monitorar o consumo de água, instalando-se medidores de vazão e totalizadores de fluxo nos equipamentos de maior consumo. A instalação de acessórios que possam interromper o suprimento de água durante as paradas de produção ou em caso de falta de energia elétrica pode evitar a ocorrência de transbordamento. A reutilização da água de um setor, em outros setores onde sua qualidade não é o fator primordial, deve ser considerada e pode gerar economia substancial.

3.1 Gasto de água

Para o projeto de uma indústria de bebidas, é necessário estimar o consumo de água. As cervejarias consomem elevada quantidade de água, que é o primeiro problema a resolver quando se dispõe a instalar uma fábrica.

As destilarias também consomem muita água, e no caso das que produzem bebidas feitas com amiláceos, a exigência é maior do que nas que trabalham com cana-de-açúcar e seu derivado principal, o melão. Normalmente se admite que a diluição do melão exige quatro vezes o volume usado desta matéria-prima. Depende da concentração em sólidos e em açúcares do melão usado, se há mistura de caldo ou de águas doces residuárias.

Segundo dados internacionais publicados no ano de 1990 e apresentados pela Fiesp (2004), o consumo de água em fábricas de bebidas maltadas está assim distribuído: resfriamento sem contato, 72%, processos e atividades afins, 13%, uso sanitário e outros, 15%.

A necessidade de água por litro de bebida produzida varia em função do tipo de bebida, embalagem e país de fabricação. Para a produção de cerveja no Reino Unido, são consumidos de 6 a 10 litros de água por litro produzido; em Israel, o consumo é de 13,5; e nos Estados Unidos, 15,0 (FIESP, 2004). Estudos de 2003 mostram que algumas cervejarias conseguem chegar a índices de 3,7 a 8 (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

O tipo de embalagem utilizado no envase do produto influencia bastante o consumo de água. Indústrias que utilizam garrafas retornáveis precisam de uma etapa extra de lavagem para remoção dos rótulos e para sua higienização. Fábricas que utilizam embalagens metálicas e de vidro não retornáveis

consomem menos água porque a etapa para sua lavagem utiliza apenas um jato de água quente.

Algumas empresas têm investido em pesquisas sobre a utilização de água ozonizada no processo de sanitização das embalagens para se reduzir o consumo de água e o uso de sanitizantes químicos.

Santos e Ribeiro (2005) publicaram a seguinte distribuição do consumo de água numa cervejaria: 44% para operações de limpeza e desinfecção, 20% para preparo do mosto, 11% para resfriamento e 25% para outros fins, como produção de vapor, sanitários, refeitórios e perdas. Os autores também detalham a quantidade de água, em litros, utilizada em cada etapa do processo de fabricação por litro de cerveja produzida: produção do mosto, 1,30 a 2,36; fermentação, 0,32 a 0,53; maturação, 0,24 a 0,67; filtração, 0,31 a 1,09; envase em garrafa, 0,59 a 1,63; envase em barril, 0,13 a 0,61; outros usos, 2,00 a 2,04.

Na produção de uísque, os Estados Unidos utilizam de 2,6 a 76 litros de água por litro de produto. Para a fabricação de destilados alcoólicos, as empresas de Israel consomem 30 litros de água por litro de bebida. Na fabricação de vinho, o consumo específico é 2,9 na França e 0,5 em Israel (FIESP, 2004).

Em plantas que produzem apenas concentrados para refrigerantes e refrigerantes carbonatados, o consumo específico de água varia de 2,3 a 6,1 litros de água por litro de refrigerante produzido.

Nas grandes destilarias de aguardentes de cana ou de derivados, a recirculação da água pode ser de grande importância para a economia da fabricação, sobretudo porque nem sempre há disponibilidade do líquido para todas as operações da indústria. Essa recirculação obriga ao uso de dispositivos de refrigeração e tratamentos específicos para eliminação de terra e impurezas ou para transformar a água de açúdes ou mananciais em água-doce e potável.

O consumo de água para lavagem de cana pode chegar a 10 metros cúbicos por tonelada de cana. Se não houver lavagem ou se a água for reciclada, o volume é substancialmente reduzido.

A água para caldeira, que deve ser tratada, pode ser estimada pela quantidade de vapor gasta para a produção de energia motora e da energia térmica. Esta é bem inferior e pode ser estimada em 3 a 5 kg de vapor consumido por kg de destilado (aguardente). Este consumo pode ser maior ou menor, de acordo com o sistema de destilação adotado e terá de ser calculado de acordo com as especificações do fabricante do equipamento.

Para a fermentação, quando se tratar de caldo de cana, o consumo de água varia de acordo com a maturação da cana e o grau de diluição empregado na preparação do mosto.

Uma cana madura com caldo de 20 °Brix, se for transformado em mosto de 15 °Brix, consome 13% de água aproximadamente, ou seja, para cada 100 litros de caldo serão adicionados 13 de água. Para uma cana com caldo de 16 °Brix não haverá diluição e para uma de 18 °Brix a diluição é feita com a adição de 10 a 11 litros de água.

3.1.1 Água para lavagem das embalagens

As garrafas retornáveis de vidro, depois de inspecionadas, passam pela lavadora para a retirada de rótulos, sujidades e sanitização, onde são lavadas com uma solução alcalina e detergente, e enxaguadas com água quente. Para reduzir o consumo nas lavadoras, é aconselhado instalar válvulas para cortar o fluxo de água nas paradas, usar aspersores mais eficientes, de menor consumo, controlar a pressão para evitar vazões maiores que as necessárias, circular a água de lavagem em contracorrente, ou seja, usar água limpa nas últimas etapas e o efluente destas nas etapas anteriores. Outra medida que possibilita redução no consumo de água em até 30% é utilizar o efluente da etapa de enxágue na pré-lavagem das garrafas. Esse efluente ainda pode ser utilizado na lavagem de engradados e pisos.

3.2 Redução do consumo de água

Numa indústria de bebidas, a água pode ter vários usos, e o seu custo tem relação direta com a quantidade utilizada. No cômputo do custo da água, deve ser levada em consideração a qualidade requerida, equipamentos utilizados para seu deslocamento, como bombas, o montante de efluente gerado e o processo de tratamento desse efluente. Segundo dados apresentados pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2005), o custo da água representa, em média, 1% do faturamento da empresa, podendo chegar, em alguns casos, a 4%. Porém, com a adoção de algumas ações para se economizar água, pode-se chegar à redução de consumo de 20 a 50%.

Com a instituição da cobrança pelo uso da água pela Agência Nacional de Águas (ANA), ligada ao Ministério do Meio Ambiente, as empresas passarão a pagar pelo volume de água captada do manancial, pelo seu consumo (volume captado que não retorna

ao corpo hídrico) e pelo despejo de efluente no corpo receptor. Essa cobrança servirá de incentivo à redução de consumo e ao reúso para reduzir o passivo ambiental e aumentar os lucros das empresas.

Os valores dessa cobrança ainda estão sendo discutidos pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, mas já se sabe que a cobrança pelo despejo de efluente no corpo receptor será função não só da quantidade, mas também da sua qualidade. O próprio usuário é quem deverá declarar os valores de consumo e despejo, para fins de outorga e emissão do boleto de cobrança.

Para tentar reduzir seu consumo, alguns procedimentos podem ser empregados: o monitoramento do consumo de água por meio de medidores de vazão e totalizadores de fluxo nos equipamentos de maior vazão; a implantação de programas de manutenção preventiva para redução ou eliminação de vazamentos; e a instalação de equipamentos que cortem o fluxo de água nas paradas de produção e o uso de limpeza CIP. Nos sanitários, a implantação de torneiras de fechamento automático e de descargas sanitárias com menor volume de água por fluxo também ajuda a reduzir o consumo nesse setor. Deve-se sempre privilegiar o uso de limpeza a seco (raspagem e varredura), utilizar água com equipamentos de alta pressão e apenas quando necessário. O controle de qualidade adequado, tanto dos ingredientes quanto do processo, reduz perdas e necessidade de reprocesso, com consequente redução do consumo de água.

Outro ponto a se considerar para reduzir o consumo de água é seu reúso.

3.3 Reúso da água

O reúso é a utilização de uma água que já foi empregada em qualquer outro processo. É um conceito utilizado há centenas de anos; no mundo inteiro, milhões de pessoas utilizam águas captadas a jusante do lançamento de efluentes. Vários países, em destaque Israel, utilizam há muitos anos efluentes tratados na irrigação de suas lavouras, especialmente em regiões áridas. O reúso de água vem ganhando força devido à necessidade urgente de diminuir a poluição de corpos d'água.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), existem três tipos de reúso:

- ◆ Reúso indireto: quando a água já usada uma ou mais vezes e descartada em corpos d'água é utilizada de forma diluída através da sua captação a partir desses corpos.
- ◆ Reúso direto: é o uso planejado de efluentes industriais ou domésticos, tratados para usos industriais, irrigação, recarga de aquífero e obtenção de água potável.
- ◆ Reciclagem interna: é a utilização de uma água já usada num processo dentro de uma determinada empresa em qualquer outra operação industrial. A reciclagem interna tem por objetivo reduzir o consumo de água e a geração de efluentes.

A norma NBR 13969, de 1997, além de classificar o reúso como direto e indireto, classifica este último como *reúso indireto* ou *reúso indireto planejado da água*. No *reúso indireto*, a água utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente usada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para novo usuário, ela está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição e autodepuração); no *reúso indireto planejado da água*, os efluentes, depois de tratados, são descarregados de maneira planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem usados a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico.

O reúso da água deve ser feito após uma avaliação geral das necessidades de água de uma empresa, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade. A água utilizada na lavagem dos pisos de estacionamento, por exemplo, não precisa ter a mesma qualidade que a água a ser incorporada à bebida, assim como a água utilizada na primeira etapa da lavagem de garrafas retornáveis não precisa ser tão limpa quanto à última água para seu enxágue.

No Estado de São Paulo, as companhias de saneamento ofertam às empresas “água de utilidade”, produzida mediante tratamento secundário de efluentes, a preços menores que os da água potável. Segundo Hespanhol (2008), na Região Metropolitana de São Paulo, a água potável é vendida por metro cúbico quatro vezes mais cara do que a água de utilidade.

Apesar de a água de reúso ou de utilidade não ter a mesma qualidade da água potável, há várias aplicações dela numa planta industrial alimentícia (HESPANHOL, 2008; MANCUSO; SANTOS, 2003), tais como: utilização em torres de resfriamento, produção de vapor, lavagem de pisos e veículos, irrigação de áreas verdes, utilização em descargas de vasos sanitários e mictórios.

Nas indústrias de bebidas, o reúso pode ser empregado em diversas etapas do processamento (SANTOS; RIBEIRO, 2005) tais como:

- ◆ na lavadora de garrafas: onde a água do último enxágue pode ser empregada na pré-lavagem das garrafas, com redução de até 30% no consumo, e o efluente ainda pode ser utilizado na lavagem de engradados;
- ◆ no pasteurizador: fazendo a pasteurização em circuito fechado, reutilizando a água de aquecimento das garrafas ou latas para um novo processo de pasteurização;
- ◆ na limpeza de equipamentos: reutilizando a água de enxágue de um equipamento como água de pré-limpeza de outro ou do mesmo;
- ◆ no envase: reutilizando no próprio equipamento a água utilizada na obtenção de vácuo para retirar o ar da garrafa antes do enchimento, reduzindo o consumo de água nesta etapa em até 50%.

Algumas empresas têm investido em tecnologia para poder reaproveitar a água utilizada em partes do processo. A empresa Naturella, que engarrafa água mineral e produz *soft drinks* (sucos de frutas), situada na cidade de Ohringen na Alemanha, esteriliza as garrafas PET antes do enchimento asséptico, com uma solução antisséptica e depois as enxágua com água purificada. Essa água de rinsagem, contaminada com pequena quantidade de desinfetante, é filtrada por um sistema de osmose reversa, em que os sais dissolvidos, assim como o desinfetante alterado quimicamente, são retidos por uma membrana. O permeado, que é água limpa de elevada pureza, retorna para ser utilizado na rinsagem das garrafas. Apenas uma pequena quantidade dessa água é drenada e repostada por água de abastecimento. Dessa forma, reduz-se significativamente o consumo de água para rinsagem.

A Coca-Cola do Brasil apresentou no ano de 2009 o balanço de suas atividades sustentáveis no mercado nacional, sendo um dos destaques o uso ra-

cional da água: a empresa está utilizando 2,08 litros de água para cada litro de bebida produzido. Atualmente, algumas unidades da empresa estão utilizando um sistema de captação de água da chuva para utilização no processo industrial, após tratamento. Outra ação importante da empresa é a construção de unidades denominadas fábricas verdes, em que os edifícios e equipamentos projetados e utilizados aproveitam com mais eficiência os recursos naturais como ventilação, luminosidade, terreno e água.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pela sua NBR 13969, de 1997, prevê para as águas de reuso os seguintes destinos:

Irrigação paisagística: parques, jardins, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestradas, *campus* universitários, cinturões verdes e gramados residenciais.

Irrigação de campos para cultivos: plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiro de plantas ornamentais, proteção contra geadas.

Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento.

Recarga de aquíferos: recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalque de subsolo.

Usos urbanos não potáveis: irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar-condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus.

Finalidades ambientais: aumento de vazão de cursos d'água, aplicação em pântanos, terras alagadas.

Usos diversos: aquicultura, construções, controle de poeira, dessedentação de animais.

As normas da ABNT classificam as águas de reuso e determinam a observação rigorosa de suas características para o uso comum (Tabela 6).

Tabela 6 Classes de reúso de águas residuais, tratamento e características.

Classe	Uso e tratamento	Características
1	Uso: lavagem de veículos e outros usos que exigem contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes. Tratamento: Aeróbio, filtração convencional e cloração.	Turbidez: < 5 Coliformes fecais: < 200 NMP/100 mL Sólidos dissolvidos totais: < 200 mg/L pH: entre 6,0 e 8,0 Cloro residual: entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L
2	Uso: lavagem de pisos, calçadas, irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes. Tratamento: biológico aeróbio seguido de filtração de areia e desinfecção.	Turbidez: < 5 Coliformes fecais: < 500 NMP/100 mL Cloro residual: superior a 0,5 mg/L
3	Uso: reúso nas descargas de vasos sanitários. Tratamento: normalmente, as águas de enxágue de máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, exigindo apenas cloração. Em casos gerais, tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção.	Turbidez: < 10 Coliformes fecais: < 500 NMP/100 mL
4	Uso: reúso em pomares, cultivo de cereais, forragens, pastagens e outros cultivos por escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Cuidado: as aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita	Coliformes totais: < 5000 NMP/100 mL

Fonte: Adaptada da ABNT – NBR 13969/97

3.4 Águas de chuva

Não se pode confundir aproveitamento de água de chuva com reúso ou reaproveitamento, pois estes termos se referem ao emprego de águas previamente usadas em operações domésticas, comerciais ou industriais, e as águas de chuva não tiveram uso prévio.

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb, a legislação brasileira considera as águas de chuva como esgoto. É correto, “pois descem dos telhados, correm pelos pisos para as bocas de lobo, em sarjetas e canaletas diversas, carreando impurezas, sujidades, suspendendo e dissolvendo materiais diversos, arrastando todo tipo de produtos para cursos d’água e espelhos”.

Excetuando as recolhidas em instalações especialmente construídas, as águas de chuva se caracterizam como esgotos, e seu aproveitamento exige tratamentos especiais de acordo com o tipo de impurezas que carregam. O tratamento vai de uma simples filtração a tratamento complexo e desinfecção. Sua utilização doméstica ou industrial depende da qualidade após sua captação e tratamentos, e se enquadra nas classes de água já estudadas.

4. TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de água tem por objetivo condicionar as características da água bruta, isto é, da água como é encontrada na natureza, a fim de atender à qualidade necessária a determinado uso. Após o tratamento, a água para consumo humano deverá apresentar qualidade conforme os padrões de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde, atualmente estabelecidos pela Portaria n. 518, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004). Água bruta de qualquer qualidade pode ser tratada e destinada ao consumo humano, embora os custos e riscos envolvidos possam ser extremamente elevados, inviabilizando a implantação da estação de tratamento.

Basicamente, a concepção das estações de tratamento de águas superficiais adota a combinação das seguintes etapas, com suas respectivas finalidades:

- ◆ *Clarificação* ⇒ remover turbidez, microrganismos e alguns metais pesados.
- ◆ *Desinfecção* ⇒ eliminar microrganismos patogênicos.
- ◆ *Fluoretacção* ⇒ prevenir a cárie dentária em crianças.
- ◆ *Correção do pH* ⇒ controlar corrosão e incrustação, principalmente em tubulações e órgãos acessórios da rede de distribuição.

Para o tratamento de águas subterrâneas, dependendo da sua qualidade, faz-se necessário somente a desinfecção.

Em função das substâncias presentes nas águas naturais, alguns processos diferentes dos anteriormente descritos podem ser necessários. Vários desses processos são complexos, apresentando custo elevado e uma operação especializada. Apresenta-se a seguir a finalidade de alguns desses processos.

- ◆ *Abrandamento* ⇒ reduzir dureza da água e remover alguns contaminantes inorgânicos.
- ◆ *Adsorção* ⇒ remover contaminantes orgânicos e inorgânicos, controlar sabor e odor.
- ◆ *Aeração* ⇒ remover contaminantes orgânicos e oxidar substâncias inorgânicas.
- ◆ *Oxidação* ⇒ remover contaminantes orgânicos e substâncias inorgânicas.
- ◆ *Tratamento com membranas* ⇒ remover contaminantes orgânicos e inorgânicos.

- ◆ *Troca iônica* ⇒ remover contaminantes inorgânicos.

A presença de componentes orgânicos ou inorgânicos na água bruta, em concentrações excessivas, conduz à necessidade de se implantar um dos processos especiais aqui citados. Obviamente, uma adequada seleção do manancial de captação de água ou o adequado gerenciamento de sua bacia são formas de se prevenir a presença de componentes indesejáveis nos corpos d'água.

O tratamento da água pode ser simplificado, convencional ou avançado, que dependerá da qualidade da água bruta.

As tecnologias de tratamento podem ser divididas em dois grupos: sem ou com coagulação química. Na Figura 1 está apresentado um fluxograma das diferentes tecnologias de tratamento de água.

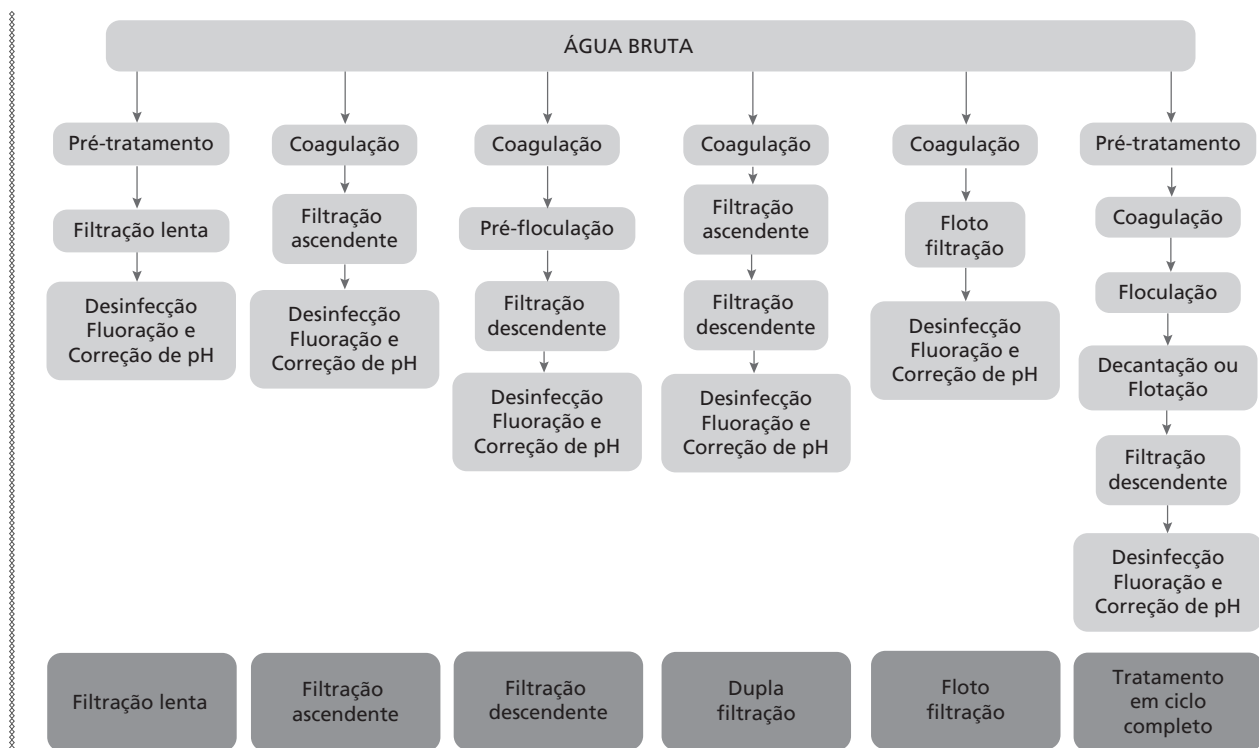


Figura 1 Fluxograma das diferentes tecnologias de tratamento de água.

Fonte: Adaptada de Di Bernardo (2000).

Cada uma das tecnologias de tratamento de água apresentadas na Figura 1 deve ser implantada após estudo da qualidade da água do manancial de abastecimento, estudo de tratabilidade da água em escala de

laboratório e, se possível, estudo de tratabilidade em escala piloto. De todas as tecnologias de tratamento de água apresentadas na Figura 1, somente na filtração lenta não se utiliza a coagulação química.

No tratamento de água, a clarificação é a etapa que se constitui de processos e operações unitárias, destinada à remoção de sólidos, como coagulação química, floculação, sedimentação ou flotação e filtração. A seguir, é feita a descrição dos processos e operações envolvidos na etapa de clarificação da água.

4.1 Clarificação de água por coagulação química

4.1.1 Coagulação química

A coagulação é a primeira etapa do tratamento de água e depende fundamentalmente das características da água bruta, conhecidas pelos parâmetros de pH, alcalinidade, cor aparente e verdadeira, turbidez, temperatura, potencial zeta, condutividade elétrica, tamanho e distribuição das partículas em estado coloidal e em suspensão, e outros.

Os coagulantes químicos mais utilizados são: cloreto férrico PA, cloreto férrico líquido, sulfato ferroso clorado líquido, sulfato férrico PA, sulfato férrico, sulfato férrico líquido, hidroxicloreto de alumínio líquido (cloreto de polialumínio), hidroxicloreto de alumínio em pó, sulfato de alumínio PA, sulfato de alumínio sólido, sulfato de alumínio líquido.

No processo de coagulação, os agentes coagulantes têm por função neutralizar as forças eletrostáticas de repulsão das partículas coloidais, fazendo com que se aproximem e formem coágulos de maior densidade. Geralmente é necessária a agitação intensa para que o processo seja eficiente. A unidade de mistura rápida pode ser hidráulica ou mecânica, dependendo da vazão a ser tratada, da variação da qualidade da água bruta e, principalmente, das condições disponíveis para operação e manutenção.

4.1.2 Floculação

No processo de floculação, os coágulos são aglutinados, formando agregados maiores, os flocos. Com o aumento do tamanho dos flocos, as forças de cisalhamento podem causar sua ruptura. A agregação e a ruptura ocorrem simultaneamente, conduzindo a uma única condição de distribuição de tamanho dos flocos. A mistura lenta, que promoverá a formação dos flocos, pode ser feita em unidades de floculação hidráulicas, por meio de chicanas, ou em unidades mecanizadas, com agitadores mecânicos.

4.1.3 Sedimentação e flotação

A sedimentação é o fenômeno físico pelo qual as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade, enquanto a flotação

se caracteriza pela ascensão das partículas suspensas, pela aderência a elas de microbolhas de ar, tornando-as de menor massa específica que o meio onde se encontram. A ocorrência da sedimentação ou da flotação das partículas suspensas propicia a clarificação do meio líquido, ou seja, operação de separação das fases sólida e líquida. Os decantadores podem ser convencionais, que consistem em grandes tanques retangulares com escoamento horizontal ou unidades mecanizadas com escoamento ascendente. Além dos convencionais, que demandam grandes áreas, existem os decantadores de alta velocidade, compostos de módulos tubulares ou de placas planas paralelas.

A flotação por ar dissolvido pode ser de três tipos: flotação a vácuo, microflotação e flotação pressurizada. A flotação pressurizada, em que o ar é dissolvido na água sob pressão, é a mais utilizada e pode ser de três tipos: com pressurização parcial do afluente, com pressurização total do afluente e com pressurização da recirculação. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), em tratamento de água, o sistema com pressurização da recirculação tem sido o mais recomendado, pois se trata da remoção de flocos frágeis.

4.1.4 Filtração

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso. Em geral, a filtração é o processo final de remoção de impurezas realizado em uma estação de tratamento de água e, portanto, principal responsável pela produção de água com qualidade condizente com os padrões de potabilidade. Na filtração rápida descendente, com ação de profundidade, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante, em contração à de ação superficial, em que a retenção é significativa apenas no topo do meio filtrante. Independentemente da condição de filtração, após certo tempo de funcionamento, há a necessidade da lavagem do filtro, geralmente realizada por meio da introdução de água no sentido ascensional com velocidade relativamente alta para promover a fluidificação parcial do meio granular com liberação das impurezas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

4.2 Clarificação de água por coagulação química e sem pré-tratamento

As tecnologias de tratamento de água quimicamente coagulada sem o emprego de pré-tratamento e suas principais características são descritas a seguir, de forma sucinta.

4.2.1 Tratamento em ciclo completo

Também denominado de tratamento convencional, compreende as operações de coagulação, floculação, sedimentação ou flotação e filtração.

A filtração pode ser direta descendente ou ascendente.

Na *filtração direta descendente*, a água bruta coagulada é introduzida na parte superior da unidade filtrante. O meio filtrante é geralmente constituído de antracito (carvão mineral fóssil) e areia ou somente areia praticamente uniforme, para garantir que haja penetração de impurezas ao longo do material granular, resultando em filtração com duração razoável. Como essa condição é fundamental para o funcionamento satisfatório da estação de tratamento, a lavagem do meio filtrante deve ser efetuada com ar e água.

Na *filtração direta ascendente*, a água bruta é coagulada e introduzida na parte inferior da unidade filtrante, a qual deve possuir fundo e sistema de drenagem apropriados, camada de pedregulho (camada suporte) adequada e meio filtrante constituído unicamente de areia. Na camada de pedregulho, ocorre formação intensa de flocos, sendo responsável pela remoção de pelo menos 50% das impurezas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Devido às dificuldades na retirada das impurezas do interior da camada de pedregulho, torna-se imperiosa a execução de descarga de fundo, em que é feita a drenagem da água do interior do filtro até que o nível de água se encontre acima do meio filtrante, antes da lavagem. Para melhor entendimento, na Figura 2 é mostrado o esquema, em corte, de um filtro desse tipo.

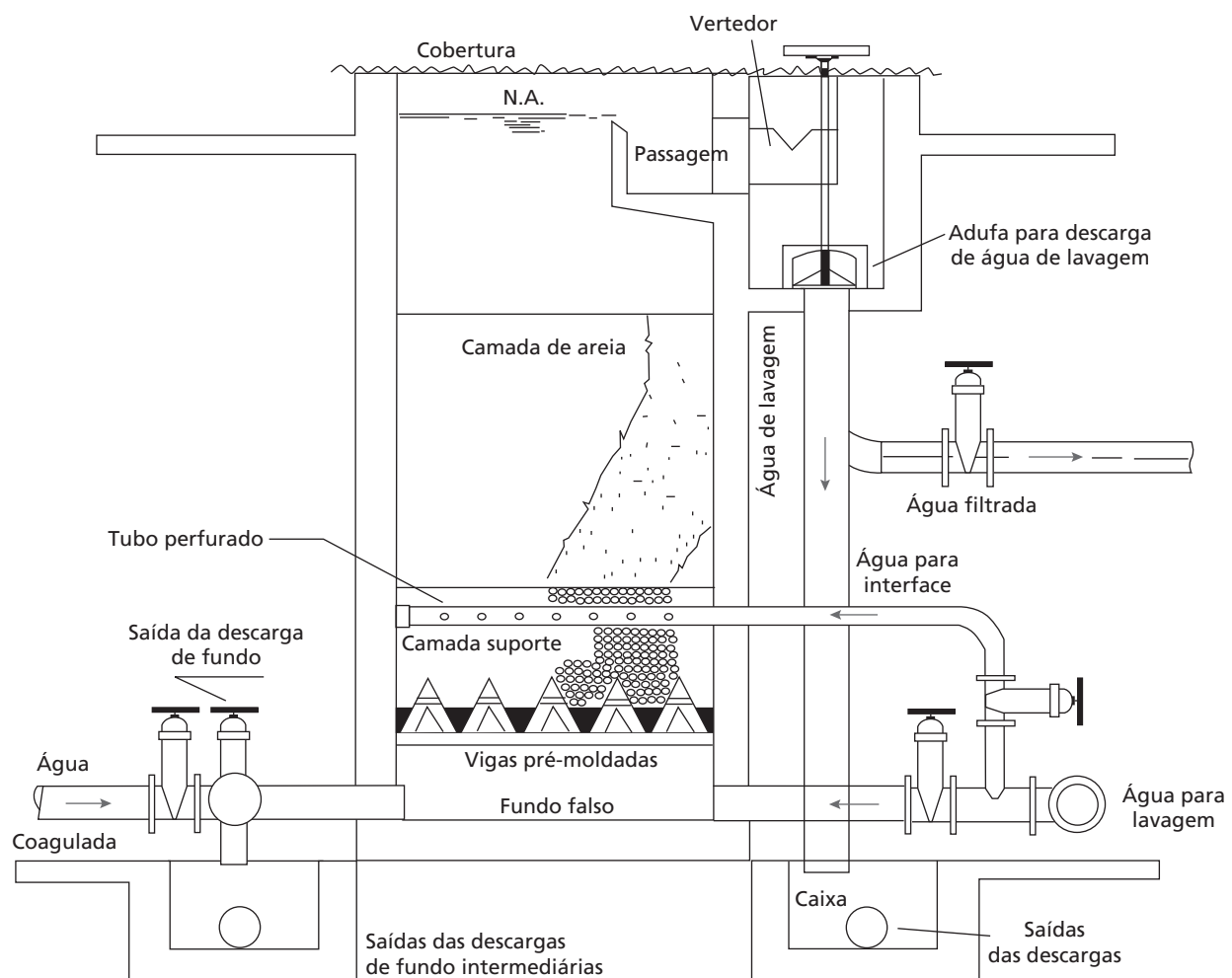


Figura 2 Esquema, em corte, de um filtro ascendente.

Existe também a *dupla filtração*, na qual se tem a associação da filtração direta ascendente com a filtração descendente. Nos dois filtros, além da camada de pedregulho, é usado meio filtrante constituído unicamente de areia, com a diferença de que a

areia no filtro ascendente possui grãos maiores que aquela usada quando se tem somente a filtração direta ascendente. Na Figura 3, é mostrado o esquema, em corte, de uma estação de dupla filtração.

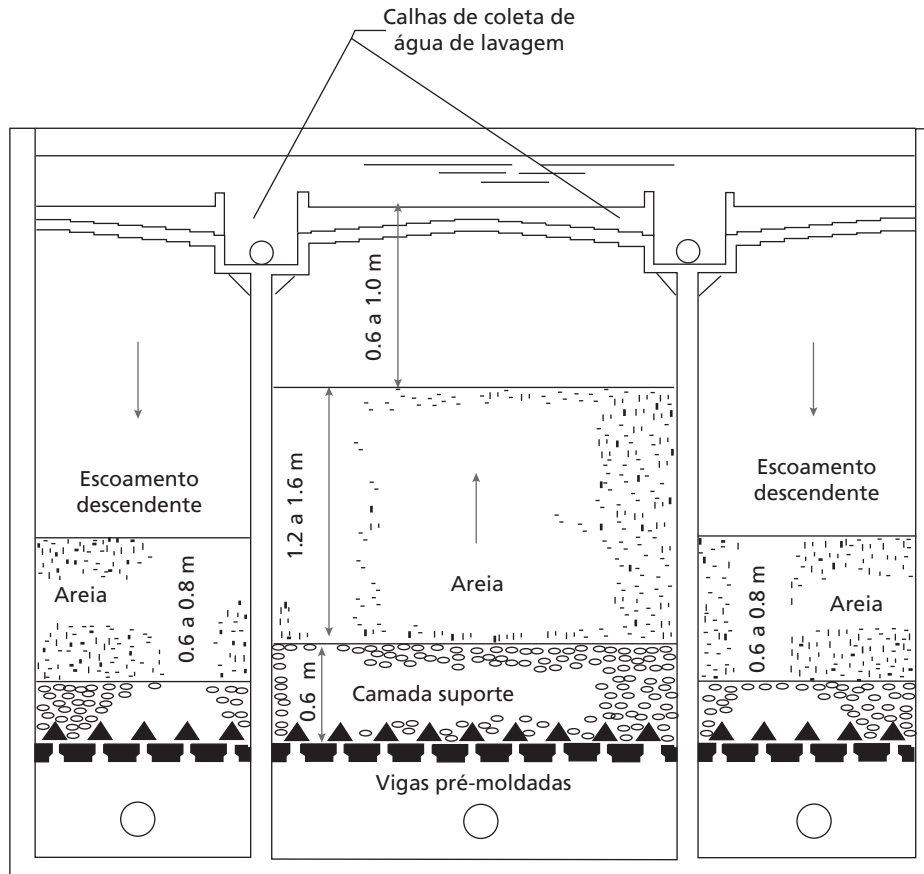


Figura 3 Esquema, em corte, de uma estação de dupla filtração.

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

Outra tecnologia utilizada para se realizar o processo de filtração é a *floto-filtração*. Neste caso, depois de passar pelos processos de coagulação e floculação, a água passa por um processo de flotação. Embora a flotação possa ser utilizada inclusive para adensamento de lodo, o emprego da tecnologia de floto-filtração tem se restringido aos casos de mananciais que apresentem cor elevada ou alta concentração de algas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

4.3 Clarificação de água sem coagulação química

4.3.1 Filtração Lenta

A filtração lenta é uma tecnologia de tratamento sem coagulação química, constituindo-se em um

processo biológico de tratamento de água, com formação de uma camada biológica no topo do meio filtrante, a qual é constituída de partículas inertes, de matéria orgânica e de uma grande variedade de organismos, tais como algas, vírus, bactérias, protozoários, metazoários etc. Essa camada biológica é também conhecida como superfície de coesão ou *schmutzdecke* (do alemão, que significa camada de sujeira) e pode levar dias ou até semanas para a sua formação. O tempo decorrido para a formação do *schmutzdecke* e para que seja produzida água de qualidade satisfatória é denominado período de amadurecimento do filtro e depende de vários fatores, tais como qualidade da água bruta, existência de unidades de pré-tratamento, velocidade de filtra-

ção, método de limpeza dos filtros, entre outros (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Dependendo da carga hidráulica disponível para a retenção de impurezas, da espessura do meio filtrante e do sistema de drenagem, a altura total da caixa do filtro varia entre 2 e 3 m (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). A carga hidráulica disponível está relacionada à razão de filtração adotada, que pode variar de 3 a 9 m³/m².d. O meio filtrante geralmente é constituído de areia relativamente fina (0,1 a 1,0 mm) com espessura de 0,8 a 1,0 m ou mantas sintéticas dispostas sobre a areia de mesmas características granulométricas, porém com camada de espessura menor (0,4 m).

4.4 Desinfecção e oxidação

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a desinfecção é um processo que usa um agente químico ou não químico para a inativação de microrganismos patogênicos presentes na água, incluindo bactérias, protozoários e vírus, além de algas, por meio da ocorrência de um ou mais dos seguintes mecanismos: a) destruição da estrutura celular; b) interferência no metabolismo com inativação de enzimas; c) interferência na biossíntese e no crescimento celular, evitando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas.

Considera-se que a eficiência da desinfecção resulta da oxidação ou da ruptura da parede celular, com consequente desintegração das células, e da difusão de um agente no interior da célula, o qual interfere na sua atividade. A desinfecção é um processo seletivo, isto é, não destrói todas as formas vivas e tampouco elimina todos os organismos patogênicos. A destruição completa das formas vivas é denominada esterilização. Dentre os agentes químicos utilizados na desinfecção, têm-se os seguintes agentes oxidantes: cloro, bromo, iodo, dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, ácido peracético, ferrato de potássio e os íons metálicos prata e cobre. Entre os agentes físicos, destacam-se o calor e a radiação ultravioleta (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Nas ETAs (Estações de Tratamento de Água), os desinfetantes devem apresentar as seguintes características: destruir em tempo razoável os organismos patogênicos na quantidade em que se apresentam e nas condições da água; não serem tóxicos ao ser humano e aos animais domésticos e, nas dosagens usuais, não causar odor e sabor na água; ser disponível a custo razoável e oferecer condições seguras de

transporte, armazenamento, manuseio e aplicação na água; devem ter sua concentração na água medida de forma rápida por meio de métodos simples e confiáveis; produzir residuais persistentes na água, assegurando a qualidade da água contra eventuais contaminações nas diferentes partes do sistema de abastecimento (DI BERNARDO, 2000).

Embora a inativação de organismos patogênicos seja sua função primária, os desinfetantes também são oxidantes no tratamento de águas de abastecimento para minimizar a formação de subprodutos, oxidar o ferro e o manganês, manter a estabilidade biológica e evitar que ocorra o crescimento de microrganismos no sistema de distribuição, remover sabor, odor e cor, melhorar a eficiência da coagulação e filtração, impedir o crescimento de algas no decantador e nos filtros, entre outros (AWWA, 1990).

O desempenho da oxidação química é influenciado pelo pH, temperatura, dosagem de oxidante, tempo de reação e pela presença de substâncias que interferem com a desejada reação redox. Muitas vezes, o pH interfere na velocidade de oxidação. Geralmente, as velocidades de oxidação química aumentam com o aumento da temperatura e da dosagem de oxidante. O tempo de reação deve ser suficiente para permitir que as reações de oxidação química sejam eficientes e benéficas ao tratamento. Além disso, a utilização da oxidação química dependerá de sua economia comparada com outros métodos de remoção de contaminantes, da formação de subprodutos e seus efeitos à saúde, e todos os benefícios que ela proporcionará ao sistema de tratamento (AWWA, 1990).

A seguir, é feita uma descrição dos principais oxidantes utilizados em tratamento de água.

4.4.1 Cloro

O cloro é o oxidante mais comumente utilizado em tratamento de água por apresentar algumas características atrativas, como: i) é eficiente na inativação de muitos organismos patogênicos comumente presentes na água; ii) deixa residual na água que é facilmente medido e controlado; iii) é de baixo custo; iv) apresenta melhoria nas unidades de tratamento de água. Há, entretanto, alguns problemas com relação ao uso de cloro, tais como: i) o cloro reage com muitos compostos orgânicos e inorgânicos na água, formando subprodutos indesejáveis da desinfecção; ii) perigos associados com o uso de cloro, especificamente cloro gasoso, requerem cuidados especiais; iii) altas dosagens de cloro podem causar problemas de sabor e odor (USEPA, 1999).

O cloro é fornecido na forma gasosa ou líquida, como uma solução aquosa concentrada (hipoclorito de sódio) ou um sólido (hipoclorito de cálcio). O cloro gasoso se hidrolisa rapidamente na água e forma o ácido hipocloroso (HOCl). O cloro também pode ser fornecido como cloro estabilizado em tabletes, mais utilizados para a desinfecção de piscinas, o ingrediente ativo é o tricloro-s-triazina-triona, com teor de cloro disponível de 90%.

Sendo o cloro um forte oxidante e extremamente corrosivo, deve-se tomar muito cuidado com o armazenamento e manuseio do produto.

Quando o cloro livre reage com a matéria orgânica natural (MON), são formados compostos orgânicos halogenados. Alguns fatores, como o tipo e a concentração da MON, dosagem e forma de cloro aplicada, concentração de nitrogênio orgânico, pH, temperatura e outros, influem na formação de subprodutos halogenados. Várias são as substâncias halogenadas que têm sido identificadas em águas tratadas previamente cloradas, como trihalometanos, haletos de cianogênio e halopirinas. A importância desses compostos se dá devido aos seus efeitos mutagênicos, teratogênicos e carcinogênicos (TOMI-NAGA; MÍDIO, 1999).

4.4.2 Ozônio

O ozônio é um forte oxidante, capaz de oxidar muitos compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água. Esta molécula (O_3) se decompõe espontaneamente durante o tratamento de água por um mecanismo complexo que envolve a geração de radicais livres hidroxila. Estes radicais hidroxila são os mais reativos agentes oxidantes na água.

O ozônio pode reagir em solução aquosa de duas maneiras: oxidação direta por ozônio molecular ($O_{3(aq)}$) e/ou oxidação por radicais livres hidroxila formados durante a sua decomposição.

Por ser uma molécula instável, o ozônio deverá ser gerado no ponto de aplicação para o uso em tratamento de água. A geração *in loco* economiza muito espaço de armazenagem. É geralmente formado pela combinação de um átomo de oxigênio com uma molécula de oxigênio (O_2).

Por ser um gás tóxico, sua produção e instalações de aplicação deverão ser projetadas para gerar, aplicar e controlar o gás. É importante o uso de equipamentos de proteção individual para os operadores. Os níveis de ozônio devem ser monitorados continuamente na estação de tratamento de água.

De acordo com a USEPA (1999), a utilização de ozônio apresenta algumas vantagens e desvantagens. Como vantagens pode-se citar: i) é mais eficiente que o cloro, cloraminas e dióxido de cloro para a inativação de vírus, *Cryptosporidium* e *Giardia*; ii) oxida ferro, manganês e sulfito; iii) pode algumas vezes melhorar o processo de clarificação e remoção de turbidez; iv) oxida os compostos que conferem cor, sabor e odor à água; v) é um dos mais eficientes desinfetantes e requer pouco tempo de contato; vi) na ausência de bromo, não são formados subprodutos halogenados; vii) sobre a sua decomposição, forma oxigênio dissolvido como residual; viii) a atividade biocida não é influenciada pelo pH. Como desvantagens, o uso de ozônio pode apresentar: i) formação de subprodutos da desinfecção, particularmente na presença de bromo, aldeídos e cetonas; ii) o custo inicial do equipamento de ozonização é alto; iii) sua geração requer energia e deverá ser gerado *in loco*; iv) é altamente corrosivo e tóxico; v) são necessários filtros ativados biologicamente para remover carbono orgânico assimilável e subprodutos da desinfecção biodegradáveis; vi) ele se decompõe rapidamente em pH alto e a temperaturas amenas; vii) não fornece residual; viii) requer alto nível de habilidade e de cuidados com os operadores.

A aplicação de ozônio como único desinfetante no tratamento de água não forma subprodutos halogenados; entretanto, se houver a presença de bromo na água, ou se o cloro for adicionado como desinfetante secundário, estes subprodutos poderão ocorrer. Os ácidos orgânicos e aldeídos são também subprodutos da ozonização (USEPA, 1999).

4.4.3 Peroxônio

Processos avançados de oxidação geram radicais hidroxila livres altamente reativos, para oxidar vários compostos presentes na água. Esses radicais são produzidos durante a decomposição espontânea de ozônio. Com o aumento da velocidade de decomposição do ozônio, eleva-se a concentração de radicais hidroxila, ocasionando o aumento da taxa de oxidação. Muitos métodos têm sido usados para este propósito. Um dos mais comuns envolve a adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) à água ozonizada, conhecido como peroxônio (USEPA, 1999).

O bom desempenho da ação oxidante do peroxônio depende da proporção peróxido de hidrogênio: ozônio, que deve ser menor ou igual a 0,3 (USEPA, 1999). No entanto, na otimização desta proporção

devem ser considerados o tempo de contato e a finalidade do uso deste oxidante.

O processo de oxidação com peroxônio apresenta algumas vantagens, podendo-se citar: é mais reativo e muito mais rápido comparado ao processo de oxidação com ozônio molecular; é eficiente na remoção de compostos orgânicos, tais como os que conferem sabor e odor à água; é eficiente em oxidar compostos halogenados. Dentre as desvantagens, têm-se: o peróxido é um forte oxidante e extremamente perigoso, pode ser armazenado *in loco*, mas deteriora gradualmente mesmo quando armazenado corretamente; não fornece residual mensurável, não sendo possível calcular os valores CT (concentração de desinfetante e tempo de contato); a capacidade do peroxônio para oxidar ferro e manganês é menos efetiva do que a aplicação de ozônio isoladamente (USEPA, 1999).

Em uso primário causa oxidação. Como agente oxidante, o peroxônio pode ser usado para remover poluentes orgânicos sintéticos e aumentar a biodegradabilidade de compostos orgânicos. Não pode ser utilizado como desinfetante secundário, porque é altamente reativo e não mantém residual no sistema de distribuição.

O peroxônio não forma subprodutos halogenados quando reage com a MON. Entretanto, se houver bromo presente na água bruta, poderão ser formados compostos halogenados. No processo de oxidação com o O_3 , o principal benefício do uso de peroxônio é controlar a formação de trialometanos, com a redução da dosagem do desinfetante secundário, geralmente o cloro ou cloraminas.

4.4.4 Dióxido de cloro

O dióxido de cloro (ClO_2) é um forte oxidante e sua geração é feita no local de aplicação. Na geração de ClO_2 , o clorito de sódio reage com cloro gasoso, ácido hipocloroso (HOCl) ou ácido clorídrico (HCl).

O dióxido de cloro é um gás explosivo, estável em água na ausência de luz e a elevadas temperaturas. Ele apresenta algumas vantagens: i) é mais eficiente que o cloro e cloraminas para inativação de vírus, *Cryptosporidium* e *Giardia*; ii) oxida ferro, manganês e sulfito; iii) pode melhorar o processo de clarificação; iv) oxida os compostos que conferem cor, sabor e odor à água; v) é facilmente gerado; vi) não são formados subprodutos halogenados sob condições de geração controladas (por exemplo, sem excesso de cloro); vii) sua capacidade como agente desinfetante não é influenciada pelo pH; viii)

fornece residual. São desvantagens para o uso do dióxido de cloro: i) formação de subprodutos específicos, como clorito e clorato; ii) dificuldade na otimização e na eficiência do gerador podendo causar excesso de cloro a ser alimentado no ponto de aplicação e formação de subprodutos halogenados; iii) altos custos associados ao treinamento, amostragem e ensaios em laboratório para análises de clorito e clorato; iv) alto custo do clorito de sódio que é usado na geração do ClO_2 ; v) como é explosivo, deve ser gerado *in loco*; vi) se decompõe na presença de luz; vii) pode produzir odores nocivos em alguns sistemas (USEPA, 1999).

De acordo com a Usepa (1999) e AWWA (1990), o ClO_2 não produz trialometanos, reduz a formação de destes compostos e ácidos haloacéticos, com a oxidação dos precursores destes subprodutos.

O clorito (ClO_2^-) e o clorato (ClO_3^-) são produzidos durante o tratamento com dióxido de cloro como produtos finais em proporções variadas. São compostos responsáveis por efeitos prejudiciais à saúde humana, como a anemia hemolítica. De acordo com a Usepa (1999), os principais fatores que influem nas concentrações finais de dióxido de cloro, clorito e clorato são: dosagem aplicada e demanda de oxidante; proporção dos produtos químicos utilizados na geração do dióxido de cloro; exposição da água contendo dióxido de cloro ao sol; reações entre cloro e clorito se o cloro livre é utilizado para manter o residual no sistema de distribuição; níveis de clorato no clorito de sódio armazenado para geração de dióxido de cloro.

4.4.5 Permanganato de potássio

O permanganato de potássio é utilizado para o controle de sabor e odor, remoção de cor, controle do crescimento de microrganismos em ETAs e remoção de ferro e manganês. Também pode ser útil no controle da formação de trialometanos e outros subprodutos, oxidando seus precursores e reduzindo a demanda de outros desinfetantes (USEPA, 1999). Embora o $KMnO_4$ seja bastante utilizado como oxidante, é menos utilizado como desinfetante.

Não há na literatura confirmação da formação de subprodutos com a utilização de permanganato de potássio como oxidante. A pré-oxidação com $KMnO_4$ combinada com a pós-cloração resultará em concentrações mais baixas de subprodutos comparadas com as concentrações formadas utilizando-se pré-oxidação com cloro (USEPA, 1999).

As velocidades das reações para a oxidação de compostos presentes em águas naturais são relativamente rápidas e dependem da temperatura, pH e dosagem do oxidante. Não é desejável manter residual de permanganato de potássio (KMnO_4) na água, por conferir cor rosa a esta.

O KMnO_4 é fornecido em pó, e uma solução concentrada é preparada no local de aplicação; sua solubilidade em água é 6,4 g/mL a 20 °C.

O KMnO_4 apresenta vantagens, e dentre elas pode-se citar: oxida ferro e manganês; oxida compostos que causam sabor e odor à água; é fácil de transportar, estocar e aplicar; é útil no controle da formação de trihalometanos e outros subprodutos; é eficiente na inativação de alguns vírus. Como desvantagem, requer longo tempo de contato; tende a conferir cor rosa à água; é tóxico e pode irritar a pele e as mucosas; quando aplicado em dosagens muito altas, pode causar problemas de saúde, tais como icterícia química e baixa pressão sanguínea (USEPA, 1999).

4.5 Adsorção em carvão ativado em pó ou granular

A remoção de substâncias orgânicas voláteis pode ser conseguida por aeração, enquanto algumas substâncias orgânicas e contaminantes inorgânicos necessitam de materiais adsorvedores, como o carvão ativado. As moléculas que se acumulam ou são adsorvidas na interface sólido/líquido são denominadas adsorvato, enquanto o material sólido é o adsorvente. Há muitos tipos de adsorventes utilizados em tratamento de água, destacando-se o carvão ativado, resinas de troca iônica, óxidos de metais e alumina ativada.

O processo de adsorção decorre de ações interfaciais, com as moléculas do adsorvato transferidas para a superfície do adsorvente, permanecendo aí retidas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Há dois tipos básicos de ações que definem o tipo de adsorção: a) físicas, envolvendo interações eletrostáticas e as forças de Van der Waals entre o adsorvato e o adsorvente; b) químicas, quando há reação química entre o sítio ativo de adsorção e o adsorvato. Tanto o carvão ativado em pó (CAP) como o carvão ativado granular (CAG) podem ser minerais (carvão betuminoso) ou vegetais (madeira, casca de coco ou osso). Para o uso do CAP é necessário preparar adequadamente uma suspensão, a qual é adicionada geralmente à água bruta ou pré-oxidada. O CAG é utilizado em filtros, após a filtração da água em uma

ETA que trata água superficial. A eficiência de adsorção do CAP é menor que a do CAG, e a produção de lodo é maior. O CAG é caracterizado por pequenos poros e grande superfície interna, enquanto o CAP está associado a grandes poros e menor superfície interna.

A maior parte das substâncias que causam sabor, odor, cor, mutagenicidade e toxicidade, incluindo agroquímicos, geosmina, 2-metil-isborneol (MIB) e cianotoxinas em geral, pode ser adsorvida em carvão ativado. Entretanto, não se pode generalizar que qualquer tipo de carvão ativado irá adsorver qualquer substância orgânica indesejável na água, pois a massa molecular dessa está diretamente relacionada ao tamanho dos poros dos grãos do carvão ativado. Por isso, o conhecimento prévio das principais propriedades dos diferentes tipos de carvão ativado e a realização de ensaios em laboratório, visando à remoção de substâncias específicas, é imprescindível para a seleção apropriada deste material (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

4.6 Aeração

Nesta etapa, ocorre a transferência de ar para água, aumentando os teores de oxigênio e nitrogênio nesta e simultaneamente reduzindo os teores de gás carbônico, gás sulfídrico, cloro, metano e substâncias aromáticas voláteis, promovendo também a oxidação e precipitação de compostos indesejáveis, como o ferro e manganês. Os métodos utilizados para aeração são realizados por meio da gravidade, aspersão, difusão de ar e difusão forçada de ar.

4.7 Abrandamento

O abrandamento com cal (CaO) ou barrilha (Na_2CO_3) é aplicado em águas que apresentam dureza não carbonatada, quando a dureza total excede a alcalinidade total. Para superar esta condição e permitir a remoção de dureza adicional, uma fonte artificial de alcalinidade é a barrilha. O abrandamento com cal ou barrilha é muito aplicado em águas de processo na indústria. Quando a água for destinada à reposição de gerador de vapor, são utilizados, de preferência, abrandadores de troca iônica, para produzir água branda, método mais econômico para remoção de dureza não carbonatada.

Uma modificação especial do abrandamento com cal permite a redução da alcalinidade de águas que contenham alcalinidade sódica. Essa modificação adquire significado especial na indústria de bebidas, em que a alcalinidade é um fator importante.

Neste caso, a alcalinidade da água bruta excede a dureza. Uma fonte artificial de dureza é obtida com a adição de cloreto de cálcio ou sulfato de cálcio.

O abrandamento com cal a temperaturas elevadas (100 °C ou mais) é um processo reservado quase que exclusivamente para água de reposição de geradores de vapor. O abrandamento pelo processo a quente ocorre em um tanque que opera sob pressão positiva de vapor; a forma mais comum é o modelo de manta de lodo de fluxo ascendente.

Praticamente todos os abrandadores de processos a quente são providos de filtros de carvão antracitoso para a remoção dos flocos arrastados. A areia não é utilizada devido à captação de sílica pela água alcalina quente.

4.8 Troca iônica

A troca iônica é geralmente o método mais prático e flexível de tratamento de água para geradores de alta pressão e outros processos. Neste, ocorre a substituição ou troca de íons menos desejáveis por íons mais desejáveis. É um processo descontínuo, com reações reversíveis.

Existem dois tipos fundamentais de resinas de troca iônica: resina catiônica, que remove parte ou todos os cátions da água (cálcio, magnésio, sódio etc.); e as resinas aniônicas, que removem parte ou todos os ânions da água (dióxido de carbono, alcalinidade de bicarbonatos e carbonatos, cloretos, sílica etc.).

A forma mais comum de troca iônica é o abrandamento de água, em que a dureza dissolvida é removida pela troca de íons cálcio e magnésio por íons de sódio. Um trocador catiônico de ácido forte no ciclo de hidrogênio (ácido) remove todos os cátions e os substitui por íons de hidrogênio. A água ácida passa então através de um trocador aniônico de base forte no ciclo hidroxila (cáustico), que remove todos os ânions, inclusive sílica e os substitui por íons hidroxila. O efluente do trocador aniônico contém, então, íons H^+ e OH^- , ou seja, água. Quando ocorre o escape de íons, o processo não é 100% eficiente (BUCHARD, 1979).

4.9 Tratamento por membranas

Na filtração em membranas, utiliza-se um material semipermeável com micro abertura de filtração, que permite a remoção de material particulado, macromoléculas, moléculas dissolvidas e íons dissolvidos. A família dos processos sob pressão de fase-líquida, microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração

(NF) e osmose reversa (OR) pode ser usada para separar espécies micrométricas e submicrométricas. A escolha da membrana adequada para cada aplicação dependerá das características da água a ser tratada e da qualidade desejada do efluente final. O afluente é bombeado para módulos contendo as membranas, permitindo a passagem da água a ser filtrada através delas, gerando o permeado, sendo que os contaminantes rejeitados são coletados no retentado (concentrado).

A microfiltração e ultrafiltração requerem uma pressão de serviço menor que 500 kPa e são principalmente aconselhadas para separação sólido/líquido. Na nanofiltração, é possível trabalhar com pressões de 500 a 1000 kPa, enquanto na osmose inversa se opera com 1000 a 4000 kPa para água salobra, 5000 a 6000 kPa para água do mar e pressões mais elevadas para águas altamente salinas.

A maioria das membranas usadas para ultra e microfiltração elimina partículas minerais, orgânicas e biológicas, como algas, bactérias e vírus. Associada à adsorção em carvão ativado em pó permite a eliminação de moléculas orgânicas dissolvidas.

4.10 Armazenamento da água

O armazenamento é necessário para evitar eventuais falhas no abastecimento. Este deve ser pensado tanto em termos do ambiente natural (cursos e espelhos d'água) quanto da indústria.

Há várias maneiras de armazenar água na natureza. A mais utilizada é a construção de açudes, ou de barragens para criar obstáculo aos cursos e formar uma bacia ou espelho que permita o abastecimento constante, sem prejudicar o entorno ou possíveis outros empreendedores a jusante. Esse tipo de armazenamento é importante em regiões sujeitas a longos períodos de seca, com grande redução do volume de fluxo. Para este tipo há tecnologias especiais que garantem também segurança em épocas de cheias.

Para a fábrica propriamente dita, vários tipos de reservatórios devem ser previstos para as diferentes águas em uso, ou seja, para limpeza geral, higiene pessoal e uso sanitário, águas especiais para os processamentos e água para as caldeiras que são geradoras de vapor.

Esses reservatórios são construídos elevados para reduzir o uso das bombas. Depois de carregados, alimentam todas as operações por gravidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBEV (Companhia de Bebidas das Américas). Disponível em: <<http://www.ambev.com.br>>. Acesso em: 03 maio 2009.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Water Quality and Treatment: a handbook of Community Water Supplies**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1999. 1248p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação: NBR 13969:97. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 60p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Normas e Padrões de Potabilidade de Águas Destinadas ao Consumo Humano. Portaria n. 518, Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria518.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2009.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Classificação dos Corpos D'Água e Diretrizes Ambientais para o seu Enquadramento, Padrões de Lançamento de Efluentes. Resolução Conama n. 357, Brasília, 2005. Data da legislação: 17/03/2005 – Publicação DOU n. 053, de 18/03/2005, p. 58-63.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas. Resolução Conama n. 396, Brasília, 2008. Data da legislação: 03/04/2008 – Publicação DOU n. 66, de 07/04/2008, p. 66-68.
- DI BERNARDO, L. e DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Abastecimento de Água**. São Carlos: Editora RiMa. 2005. v. 1 e 2, 1565p.
- DI BERNARDO, L. Tecnologias de Tratamento de Água para Consumo Humano. Em: CASTELLANO, E. G.; CHAUDHRY, F. H. **Desenvolvimento Sustentado: problemas e estratégias**. São Carlos: EESC-USP, 2000. 347p.
- DREW PRODUTOS QUÍMICOS. **Princípios de Tratamento de Águas Industriais**. Tradução de Thomas J. Buchard. São Paulo: Drew Produtos Químicos, 1979. 331 p.
- FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Água: quanto ela realmente custa para sua empresa?** São Paulo: FIESP, 2005. 8p.
- FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e reúso de água: manual de orientações para o setor industrial**. São Paulo: Fiesp, 2004. v.1, 90p.
- HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.
- MACÊDO, J. A. B. **Águas e águas**. 3 ed. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química – MG. 2007. 1042p.
- MACÊDO, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. Juiz de Fora: Quick Press. 2001. 302p.
- MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. São Paulo: Manole, 2003. 579p.
- POWELL, S.T. **Acondicionamento de águas para la industria**. México: Limusa-Wiley. 1966. 631p.
- SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. de M. **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo: Cetesb. 2005. 58 p. (Série P + L).
- TOMINAGA, M.Y., MÍDIO, A. F. Exposição humana a trialomitanos presentes em água tratada. São Paulo: **Revista de Saúde Pública**, v. 33, n. 4, p. 413-421, 1999.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual**. Washington: EPA. 1999. 346p.
- WERDEHOFF, K. S., SINGER, P. C. Chlorine dioxide effects on THMFP, TOXFP and the formation of inorganic by-products. **Journal American Water Works Association**, v. 79, n. 9, p. 107, 1987.

