

Sumário

1 Introdução às ciências e à engenharia ambientais	1
1-1 O QUE SÃO AS CIÊNCIAS AMBIENTAIS?	2
As ciências naturais	2
As ciências ambientais	2
A ciência ambiental quantitativa	2
1-2 O QUE É A ENGENHARIA AMBIENTAL?	3
A engenharia	3
A engenharia ambiental	3
1-3 UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA	3
Visão geral	3
A hidrologia	4
O tratamento da água	4
O tratamento de águas residuárias	8
O controle da poluição atmosférica	9
Os resíduos sólidos e perigosos	9
1-4 A COLABORAÇÃO ENTRE ENGENHEIROS E CIENTISTAS AMBIENTAIS	10
1-5 UMA INTRODUÇÃO AOS PRINCÍPIOS DA ENGENHARIA E DA CIÊNCIA AMBIENTAIS	11
Qual é o nosso ponto de partida?	11
Uma breve descrição deste livro	11
1-6 UMA VISÃO GERAL DOS SISTEMAS AMBIENTAIS	12
Os sistemas	12
Os sistemas de gestão de recursos hídricos	13
Os sistemas de gestão de recursos atmosféricos	17
Os sistemas de gestão de resíduos sólidos	17
Os sistemas multicompartimento	19
A sustentabilidade	19
1-7 A LEGISLAÇÃO E A REGULAMENTAÇÃO AMBIENTAIS	19
Os projetos de lei, as leis e as regulamentações	19
1-8 A ÉTICA AMBIENTAL	22
Estudo de caso 1: acrescentar ou não acrescentar valor?	22
Estudo de caso 2: você não consegue fazer tudo ao mesmo tempo	23
Revisão do capítulo	23
Exercícios	24
Questões para discussão	25
Referências	29
2 A química e o meio ambiente	31
Estudo de caso: Usar ou não o MTBE?	32
2-1 INTRODUÇÃO	32
2-2 OS CONCEITOS BÁSICOS DA QUÍMICA	33
Os átomos, os elementos e a tabela periódica	33
As ligações químicas e as forças intermoleculares	34
O mol, as unidades molares e as unidades de atividade	36
As reações químicas e a estequiometria	37
O equilíbrio químico	44
A cinética das reações	56
2-3 A QUÍMICA ORGÂNICA	61
Os alcanos, os alcenos e os alcinos	62
Os compostos arila, ou aromáticos	63
Os grupos funcionais e as classes de compostos	63
2-4 A QUÍMICA DA ÁGUA	64
As propriedades físicas da água	64
Os estados das impurezas em solução	65
As unidades de concentração em soluções ou suspensões aquosas	66
Os tampões	69
2-5 A QUÍMICA DOS SOLOS	75
2-6 A QUÍMICA DA ATMOSFERA	77
Os conceitos básicos dos gases	78
Revisão do capítulo	80
Exercícios	81
Questões para discussão	86
Referências	87
3 A biologia e o meio ambiente	89
Estudo de caso: Veneno na água?	90
3-1 INTRODUÇÃO	90

3-2 A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA VIDA	91
Os carboidratos	91
Os ácidos nucleicos	93
As proteínas	96
Os lipídios	100
3-3 A CÉLULA	101
As células procarióticas e as eucarióticas	101
A membrana celular	101
As organelas nas células eucarióticas	106
As organelas das células vegetais	110
As organelas celulares dos procariotos	111
3-4 A ENERGIA E O METABOLISMO	111
As células, a matéria e a energia	111
3-5 A REPRODUÇÃO CELULAR	116
O ciclo da célula	116
A reprodução assexuada	117
A reprodução sexuada	118
3-6 A DIVERSIDADE DOS SERES VIVOS	119
3-7 OS DOMÍNIOS BACTERIA E ARCHAEA	119
Archaea	120
Bactéria	121
3-8 PROTISTAS	124
Os protozoários	124
As algas	126
Os bolores limosos e os bolores aquáticos	128
3-9 FUNGOS	129
Os quitridiomicetos	129
Os zigomicetos	129
Os ascomicetos	129
Os basidiomicetos	130
Os deuteromicetos	130
3-10 VÍRUS	130
3-11 AS DOENÇAS CAUSADAS POR MICRÓBIOS	132
3-12 AS TRANSFORMAÇÕES MICROBIANAS	133
Revisão do capítulo	136
Exercícios	137
Questões para discussão	139
Referências	140
4 Os balanços de massa e de energia	141
4-1 INTRODUÇÃO	142
4-2 A UNIFICAÇÃO DAS TEORIAS	142
A conservação da matéria	142
A conservação da energia	142
A conservação da matéria e da energia	142
4-3 OS BALANÇOS DE MASSA	143
Os princípios básicos	143
O fator tempo	144
Os sistemas mais complexos	145
A eficiência	148
As condições da mistura	151
Incluindo reações e perdas no processo	153
Os reatores	157
A análise dos reatores	158
4-4 OS BALANÇOS DE ENERGIA	166
A primeira lei da termodinâmica	166
Os princípios básicos	167
A segunda lei da termodinâmica	175
Revisão do capítulo	177
Exercícios	177
Questões para discussão	185
Referências	185
5 Os ecossistemas	187
Estudo de caso: O DDT – benção ou maldição?	188
5-1 INTRODUÇÃO	189
Os ecossistemas	189
5-2 A INFLUÊNCIA EXERCIDA PELO HOMEM	189
5-3 A TRANSFERÊNCIA DE MASSA E DE ENERGIA NOS ECOSISTEMAS	191
A bioacumulação	195
5-4 OS CICLOS DE NUTRIENTES	197
O ciclo do carbono	197
O ciclo do nitrogênio	199
O ciclo do fósforo	200
O ciclo do enxofre	202
5-5 A DINÂMICA POPULACIONAL	203
O crescimento das populações bacterianas	204

A dinâmica populacional animal.	206
A dinâmica populacional humana	210
5-6 OS LAGOS E A CICLAGEM DE MASSA E DE ENERGIA EM UM ECOSISTEMA	214
A estratificação e a renovação de lagos.	214
As zonas biológicas	215
A produtividade dos lagos	217
A eutrofização	220
5-7 A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PARA A PROTEÇÃO DOS ECOSISTEMAS.	223
Revisão do capítulo	224
Exercícios	225
Questões para discussão.	227
Referências	228
6 A percepção, a avaliação e a gestão do risco.	231
Estudo de caso: Proibido nadar!	232
6-1 INTRODUÇÃO	232
6-2 A PERCEÇÃO DO RISCO.	232
6-3 A AVALIAÇÃO DO RISCO	234
A coleta e a análise de dados	234
A avaliação da toxicidade.	234
A avaliação da exposição.	240
A caracterização do risco	246
6-4 A GESTÃO DO RISCO.	247
Revisão do capítulo	247
Exercícios	248
Questões para discussão.	250
Referências	250
7 A hidrologia	253
Estudo de caso: A lenta morte de um mar.	254
7-1 FUNDAMENTOS DA HIDROLOGIA	256
O ciclo hidrológico.	256
7-2 MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, DA EVAPORAÇÃO, DA INFILTRAÇÃO E DA VAZÃO.	265
Precipitação	265
Evaporação	267
Infiltração	270
Vazão em cursos de água.	273
7-3 HIDROLOGIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	274
Os aquíferos	274
7-4 ESCOAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	279
7-5 HIDRÁULICA DOS POÇOS.	283
A definição dos termos	283
Cone de depressão	284
7-6 A IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NO ABASTECIMENTO	289
7-7 A REDUÇÃO DOS VOLUMES DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	290
O direito à água	290
A utilização da água.	292
A subsidência da terra	292
7-8 A GESTÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS.	294
O desenvolvimento de baixo impacto	295
As infraestruturas verdes para climas úmidos	296
Revisão do capítulo	296
Exercícios	297
Questões para discussão.	299
Referências	299
8 A sustentabilidade.	301
Estudo de caso: Um novo metal precioso – o cobre.	302
8-1 INTRODUÇÃO	303
A sustentabilidade	303
O problema humano	303
Não há dinossauros entre nós	304
A cultura verde (Go Green).	305
8-2 OS RECURSOS HÍDRICOS	306
Água, água em toda a parte.	306
A análise de frequência e de probabilidade	306
As inundações	307
As estiagens.	312
8-3 OS RECURSOS ENERGÉTICOS	329
As reservas de combustíveis fósseis.	329
A energia nuclear.	332
Os impactos ambientais	333

Os recursos energéticos sustentáveis . . .	338
A engenharia verde e a conservação de energia	343
8-4 OS RECURSOS MINERAIS	349
As reservas	349
Os impactos ambientais	351
A conservação de recursos	352
8-5 OS RECURSOS GEOLÓGICOS	355
O estoque energético	355
8-6 OS PARÂMETROS DA SUSTENTABILIDADE DO SOLO	356
A ciclagem de nutrientes no solo	356
A acidez do solo	358
A salinidade do solo	359
A textura e a estrutura	359
8-7 A CONSERVAÇÃO DO SOLO	359
A gestão dos solos	359
A erosão	361
Revisão do capítulo	366
Exercícios	367
Questões para discussão	369
Referências	369
9 A gestão da qualidade da água	375
Estudo de caso: “Lá está ela, esguichando”!.	376
9-1 INTRODUÇÃO	378
9-2 OS POLUENTES AQUÁTICOS E SUAS ORIGENS	379
As fontes pontuais	379
As fontes não pontuais	379
Os materiais demandadores de oxigênio	379
Os nutrientes	380
Os organismos patogênicos	382
Os sólidos suspensos	382
Os sais	383
Os pesticidas	383
Os fármacos e os produtos para a higiene pessoal	385
Os desreguladores endócrinos	386
Outros compostos orgânicos	387
O arsênico	388
Os metais tóxicos	389
O calor	389
As nanopartículas	390
9-3 A GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS	390
O efeito dos resíduos demandadores de oxigênio nos rios	391
A demanda bioquímica de oxigênio	391
A medida da demanda biológica de oxigênio em laboratório	396
Algumas observações sobre a demanda bioquímica de oxigênio	399
A oxidação do nitrogênio	400
A curva de depleção (decaimento) do oxigênio dissolvido	401
O efeito dos nutrientes na qualidade da água nos rios	417
9-4 A GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM LAGOS	418
O controle do fósforo	418
A acidificação dos lagos	422
9-5 A QUALIDADE DA ÁGUA NOS ESTUÁRIOS	428
9-6 A QUALIDADE DA ÁGUA DOS OCEANOS	430
9-7 A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	433
A migração de contaminantes nas águas subterrâneas	433
9-8 A PROTEÇÃO DAS FONTES DE ÁGUA	437
Revisão do capítulo	439
Exercícios	440
Questões para discussão	444
Referências	446
10 O tratamento da água	449
Estudo de caso: Walkerton — a cidade em que as crianças morreram de infecção por <i>E. coli</i>	450
10-1 INTRODUÇÃO	451
A qualidade da água	453
As características físicas	454
As características químicas	454
As características microbiológicas	454
As características radioativas	455
Os padrões de qualidade da água nos Estados Unidos	455
A classificação da água e os sistemas de tratamento	458

10-2	A MISTURA RÁPIDA, A FLOCULAÇÃO E A COAGULAÇÃO . . .	460	11-1	INTRODUÇÃO	517
	A estabilidade e a desestabilização dos coloides.	460		A perspectiva do tratamento de efluentes líquidos	517
	A física da coagulação	461	11-2	CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS	518
	Os coagulantes	462		Características físicas	518
	A mistura e a floculação	464		Características químicas	518
				Características dos efluentes industriais	519
10-3	O ABRANDAMENTO	468	11-3	CRITÉRIOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES	521
	A dureza	468		Pré-tratamento de efluentes industriais	522
	O abrandamento com cal e soda barrilha (carbonato de sódio)	474	11-4	SISTEMAS LOCAIS DE DISPOSIÇÃO	523
	O abrandamento por troca iônica	477	11-5	SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	523
10-4	A SEDIMENTAÇÃO	479	11-6	OPERAÇÕES UNITÁRIAS DO PRÉ-TRATAMENTO	524
	Visão geral	479		Unidades de gradeamento	524
	A determinação da velocidade de sedimentação (v_s)	480		Caixas de areia	525
	O cálculo da taxa de aplicação superficial	482		Trituradores	527
10-5	A FILTRAÇÃO	483		Equalização	527
10-6	A DESINFECÇÃO	486	11-7	TRATAMENTO PRIMÁRIO	532
	A cinética da desinfecção	487	11-8	TRATAMENTO SECUNDÁRIO	533
	Os desinfetantes e seus subprodutos	488		Visão geral	533
	As reações do cloro na água	489		A função dos microrganismos	534
	As cloraminas	491		A dinâmica populacional	534
	O dióxido de cloro	492		O lodo ativado	536
	A ozonização	492		Filtros biológicos, ou percoladores	547
	A radiação ultravioleta	492		Lagoas de oxidação	549
10-7	OS OUTROS MÉTODOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA POTÁVEL	493		Contatores biológicos rotativos	551
	Os processos em membrana	493		Sistemas integrados de lodo ativado e crescimento aderido	552
	Os processos de oxidação avançados	497		Reatores com crescimento aderido em leito móvel	552
	A adsorção em carvão	497	11-9	DESINFECÇÃO	553
	A aeração	497	11-10	TRATAMENTO TERCIÁRIO	553
10-8	A GESTÃO DOS RESÍDUOS DO TRATAMENTO DA ÁGUA POTÁVEL	498		Filtração	553
	A análise do balanço de massa	499		Adsorção em carvão ativado	554
	O tratamento do lodo	500		Remoção química do fósforo	555
	O descarte final	504		Remoção biológica do fósforo	556
	Revisão do capítulo	505		Controle do nitrogênio	556
	Exercícios	506	11-11	TRATAMENTO DE EFLUENTES NO SOLO	557
	Questões para discussão	512		Infiltração lenta	559
	Referências	513		Escoamento em superfície	559
11	O tratamento de efluentes líquidos	515			
	Estudo de caso: O incêndio do Rio Cuyahoga	516			

	Infiltração rápida	559		O chumbo	593
	Potencial para a geração de efeitos adversos	559		O dióxido de nitrogênio	593
11-12	TRATAMENTO DO LODO	560		Os oxidantes fotoquímicos	594
	Origens e características dos lodos	560		Os óxidos de enxofre	594
	Inventário de sólidos	560		Os particulados	596
	Processos para condicionamento e tratamento de lodo	562	12-6	AS ESCALAS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	598
11-13	DISPOSIÇÃO DO LODO	568		A poluição atmosférica em ambientes internos	598
	Disposição final	568		A chuva ácida	602
	Uso como condicionador de solo	568		A redução da camada de ozônio	603
	Recuperação de áreas degradadas	569		O aquecimento global	605
	Disposição em aterro sanitário	569	12-7	A METEOROLOGIA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	613
	Aproveitamento	569		O funcionamento da atmosfera	613
	Regulamentações sobre o descarte de lodo	569		A turbulência	614
	Revisão do capítulo	569		A estabilidade	615
	Exercícios	570		Os efeitos da topografia	617
	Questões para discussão	574	12-8	A DISPERSÃO ATMOSFÉRICA	619
	Referências	574		Os fatores que afetam a dispersão dos poluentes atmosféricos	619
12	A poluição atmosférica	577		A modelagem da dispersão	620
	Estudo de caso: A névoa	578	12-9	O MODELO DA QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES INTERNOS	627
12-1	INTRODUÇÃO	579	12-10	O CONTROLE DA POLUIÇÃO EMITIDA POR FONTES ESTACIONÁRIAS	629
	A perspectiva da poluição atmosférica	579		Os poluentes gasosos	629
12-2	OS ASPECTOS FUNDAMENTAIS	579		A dessulfurização de gases de combustão	632
	As relações de pressão e as unidades de medida	579		As tecnologias utilizadas no controle de óxidos de nitrogênio	633
	O caráter relativo das unidades de medida	579		Os poluentes particulados	634
	A expansão e a compressão adiabáticas	579		As tecnologias de controle do mercúrio	637
12-3	LEGISLAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	580	12-11	O CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DE FONTES MÓVEIS	638
	Legislação Brasileira	585		Os princípios básicos dos motores	638
12-4	OS EFEITOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS	585		O controle das emissões de automóveis	641
	Os efeitos nos materiais	585	12-12	A MINIMIZAÇÃO DE EMISSÕES EM BUSCA DA SUSTENTABILIDADE	642
	Os efeitos na vegetação	586		Revisão do capítulo	643
	Os efeitos para a saúde	588		Exercícios	644
12-5	A ORIGEM E O DESTINO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS	592		Questões para discussão	646
	O monóxido de carbono	592		Referências	646
	Os poluentes atmosféricos perigosos (PAPs)	593			

13	Gestão de resíduos sólidos urbanos	651	14-1	INTRODUÇÃO	692
	Estudo de caso: Muito lixo para pouco espaço	652		Dioxinas e PCBs	692
13-1	INTRODUÇÃO	653	14-2	SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS DA AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS	694
	A magnitude do problema	654	14-3	A RCRA E A HSWA	695
13-2	CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	655		As ações do Congresso norte-americano sobre os resíduos perigosos	695
13-3	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	658		O conceito “do berço ao túmulo”	695
13-4	COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS	659		As exigências para o agente gerador	697
13-5	RESÍDUOS SÓLIDOS COMO RECURSO	660		Normas de transporte	699
	O histórico e as perspectivas	660		Exigências relativas ao tratamento, à armazenagem e à disposição final	700
	Química e engenharia verdes	661		Tanques subterrâneos de armazenagem	701
	Redução na fonte	662	14-4	A CERCLA E A SARA	702
	Reúso	662		A lei que criou o Superfundo	702
	Reeducação e a legislação	663		A Lista Nacional de Áreas Prioritárias	703
	Reciclagem	663		Sistema de classificação de risco	703
	A compostagem	667		O plano nacional de contingenciamento	704
13-6	REDUÇÃO DE VOLUME DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	668		Responsabilidade	704
	Processos de combustão	668		Lei de Emendas e Nova Promulgação do “Superfundo”	705
	Tipos de incineradores	669	14-5	GESTÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS	706
	Questões de saúde pública e meio ambiente	672		Minimização da geração de resíduos	706
	Outros processos de tratamento térmico	673		Troca de resíduos	709
13-7	DISPOSIÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS	673		Reciclagem	709
	Seleção do local	674	14-6	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO	710
	Operação	675		Tratamento biológico	710
	Aspectos ambientais	677		Tratamento químico	712
	Lixiviado ou chorume	678		Tratamentos físico-químicos	715
	Produção de metano e de outros gases	681		Incineração	719
	Projeto de aterros sanitários	684		Estabilização-solidificação	726
	Cobertura final de um aterro	685	14-7	DISPOSIÇÃO NO SOLO	727
	Revisão do capítulo	685		Injeção em poços profundos	727
	Exercícios	686		Tratamento no solo	727
	Questões para discussão	688		Aterros	727
	Referências	688	14-8	CONTAMINAÇÃO E REMEDIAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	731
14	A gestão de resíduos perigosos	691		O processo de contaminação	731
	Estudo de caso: Não deu praia	692		O procedimento de remediação de águas subterrâneas da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos	732

Mitigação e tratamento	734
Revisão do capítulo	740
Exercícios	741
Questões para discussão	746
Referências	747
15 A poluição sonora	749
15-1 INTRODUÇÃO	750
As propriedades das ondas sonoras . . .	751
A potência e a intensidade do som . . .	752
Os níveis e o decibel	753
A caracterização do ruído	755
15-2 OS EFEITOS DOS RUÍDOS NAS PESSOAS	759
O mecanismo da audição	759
A audição normal	762
A perda de audição	763
Os critérios de dano e risco	766
A interferência na fala	766
O desconforto	767
A interferência no sono	768
Os efeitos no desempenho	769
A privacidade acústica	769
15-3 OS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO	770
Os objetivos de um sistema de classificação de ruídos	770
O conceito L_N	770
O conceito de L_{eq}	771
O conceito de L_{dn}	772
15-4 AS FONTES DE RUÍDOS E OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	772
O ruído associado ao transporte	772
Os outros motores a combustão interna	773
Os ruídos gerados pela construção civil	774
O zoneamento e a escolha do local . . .	775
As medidas de proteção à saúde e ao bem-estar	776
15-5 A TRANSMISSÃO DE RUÍDOS EM AMBIENTES EXTERNOS	776
A lei dos quadrados inversos	776
Os campos acústicos de uma fonte . . .	776
A diretividade	778
A transmissão no ar	779
15-6 A ANÁLISE DO RUÍDO DEVIDO AO TRÁFEGO	780
A análise de L_{eq}	780
O cálculo de L_{dn}	780
15-7 O CONTROLE DO RUÍDO	781
O controle na fonte, no percurso ou no receptor	781
O projeto da fonte no controle do ruído	781
O controle do ruído no percurso de transmissão	782
A reforma de equipamentos como forma de controlar o ruído	784
A proteção do receptor	785
Revisão do capítulo	786
Exercícios	787
Questões para discussão	790
Referências	790
16 A radiação ionizante	793
16-1 FUNDAMENTOS	794
A estrutura atômica	794
A radioatividade e a radiação	795
Decaimento radioativo	797
Radioisótopos	800
Fissão	800
A produção de raios X	801
A dose da radiação	803
16-2 OS EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE	805
O padrão sequencial dos efeitos biológicos	805
Os fatores que afetam os efeitos biológicos	805
Os efeitos agudos	807
A relação entre o tipo de dose e a síndrome aguda da radiação	807
Os efeitos retardados ou tardios	808
Os efeitos genéticos	810
16-3 OS PADRÕES PARA EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO	811
16-4 A EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO	813
Os perigos da exposição à radiação em ambientes internos e externos	813
A radiação natural	813

Os raios X	814	Gerenciamento de rejeitos radioativos de nível baixo	823
Os radionuclídeos	815	Confinamento e gerenciamento de longo prazo	826
Operação de reatores nucleares	815	Revisão do capítulo	829
Os rejeitos radioativos	815	Exercícios	829
16-5 A PROTEÇÃO CONTRA A RADIAÇÃO	816	Questões para discussão	831
A redução dos perigos da radiação externa	816	Referências	831
A redução dos riscos da radiação interna	820	APÊNDICE	
16-6 OS REJEITOS RADIOATIVOS	821	A AS PROPRIEDADES DO AR, DA ÁGUA E DE ALGUNS COMPOSTOS QUÍMICOS IMPORTANTES	833
Os tipos de rejeitos	821	CRÉDITOS	839
Gerenciamento de rejeitos radioativos de nível alto	822	ÍNDICE	841
A Planta Piloto de Isolamento de Rejeitos	823		