

TEORIA E PRÁTICA DA PURIFICAÇÃO DE ÁGUA

VOLUME II

JORGE ARBOLEDA VALENCIA
IVAN A. BUITRAGO LEÓN
LUIS A. JARAMILLO GÓMEZ

Arboleda Valencia, Jorge, autor

Teoria e prática da purificação da água. Volume 2 / Jorge Arboleda Valencia, Iván A.

Buitrago León, Luis A. Jaramillo Gómez. -- Quarta edição. -- Bogotá: Ecoe Ediciones, 2024.

412 páginas. -- (Ciências da terra, geografia, meio ambiente e planejamento.

Abastecimento e tratamento de água)

Inclui currícula vitae dos autores -- Inclui bibliografia.

ISBN 978-958-503-650-5 (e-book)

Purificação da água 2. Qualidade da água - Controle 3. Química da água I. Buitrago León, Iván A., autor II. Jaramillo Gómez, Luis Alberto, autor

CDD: 628.162 ed.

23CO-BoBN- a1127010



Área: *Tecnologia, engenharia, agricultura, processos industriais*

Subárea: *Abastecimento e tratamento de água*

ECOE
EDICIONES

© Jorge Arboleda Valencia

© Iván A. Buitrago León

© Luis A. Jaramillo Gómez

Ecoe Ediciones S.A.S.

info@ecoedediciones.com

www.ecoedediciones.com

Carrera 19 # 63 C 32

Telefone: (+57) 321 226 46 09

Bogotá, Colômbia

Primeira edição: Bogotá, janeiro de 2024

e-ISBN: 978-958-503-882-2

Diretora Editorial: Ana María Rueda G.

Coordenadora Editorial: Paula Bermúdez B.

Editora de aquisições: Alejandra Cely R.

Revisão: Andrés Caro

Layout: Magda Barrero

Capa: Wilson Marulanda Muñoz

*A reprodução total ou parcial por qualquer meio é proibida sem
a permissão por escrito do detentor dos direitos autorais.*

Todos os direitos reservados.

AGRADECIMENTOS

Os autores do livro expressam seus sinceros agradecimentos a todos aqueles que participaram da atualização e do ajuste das informações aqui incluídas, da revisão de fórmulas e da renovação de gráficos.

Entre eles, gostaríamos de destacar a participação da desenhista industrial María Camila Niño, que com todo o seu trabalho nos ajudou a atualizar as imagens das edições anteriores e adequá-las às novas tecnologias e padrões de desenho. Ao Sr. John Carlos López, pela revisão geral do livro, pela formulação química e pela nomenclatura utilizada. Ao engenheiro Andrés Dimas, pela revisão técnica de vários conceitos aqui apresentados. À engenheira Clara María Corzo, pela revisão do projeto dos componentes da planta. E, em geral, a toda a equipe das empresas WARP SAS e Profit Eng. SAS pelo apoio desinteressado no desenvolvimento de gráficos, módulos, diagramas e na atualização desta nova edição.

ÍNDICE

CAPÍTULO 8. TEORIA DA FILTRAGEM DA ÁGUA 1	3
História da filtragem	3
Mecanismos responsáveis pela filtragem	5
Modelos matemáticos de filtragem	16
Outros modelos	22
Equações para determinar a perda de carga no leito do filtro	25
Análise granulométrica de materiais granulares	26
Queda de pressão inicial	28
Queda de pressão máxima	35
Fatores que influenciam a filtragem	36
Tipo de meio filtrante	36
Taxa de filtragem	37
Tipo de suspensão	37
Características físicas	37
Características químicas	38
Influência da temperatura	40
Dureza do floco	42
Condicionamento do floco influente	43
Teoria da lavagem do meio filtrante granular	46
CAPÍTULO 9: PROJETO DE UNIDADES DE FILTRAGEM	69
Filtros rápidos convencionais	71
Meio filtrante	72
Leitos mistos com materiais de diferentes densidades	76
Características dos meios filtrantes	77
Design com várias camas	78

Filtros de camada profunda.....	83
Histórico.....	83
Taxa de filtração ou carga superficial.....	86
Queda de pressão.....	90
Pressão negativa.....	91
Profundidade da camada de água acima do filtro.....	93
Lavagem do filtro.....	94
Modalidades de limpeza do filtro.....	96
Lavagem ascendente com água.....	97
Braços giratórios de superfície.....	99
Pulverizadores de superfície fixa.....	100
Pulverizadores rotativos de subsuperfície.....	101
Métodos de aplicação de água de lavagem.....	102
Sistemas de coleta de água de lavagem.....	106
Sistemas de drenagem.....	109
Tubos perfurados para trabalhos com cascalho.....	109
Tubos perfurados para trabalhos com blocos e cascalho.....	111
Bicos de plástico Patterson Candy.....	112
Fundo Weeler.....	112
Fundo Leopold.....	114
Bicos.....
Fundos pré-fabricados.....	116
Placas porosas.....	118
Hidráulica de vários distribuidores de água.....	120
Plantas-piloto.....	122
Sistemas de controle de filtros.....	123
Taxa de filtração constante.....	124
Controle de afluentes distribuídos igualmente.....	124
Controle de saída com regulador de fluxo.....	125
Rato em declínio.....	128
Classificação de filtros de rato com decaimento gradual.....	133
Modelo hidráulico do comportamento de filtros de taxa decrescente.....	135
Projeto racional de um filtro de taxa decrescente por etapas.....	137
Perdas de pressão.....	137
Quedas de pressão turbulentas.....	139
Saldo dos fluxos.....	140
Generalização das equações.....	140
Método de solução.....	141
Comportamento de filtros de rato com decaimento gradual.....	141
Aplicação do modelo a casos práticos.....	146
Configurações de filtro.....	147
Projeto de filtros convencionais de taxa constante.....	147
Outros equipamentos.....
Número de unidades.....	152
Projeto do filtro de controle hidráulico e taxa de decaimento.....	153
Considerações básicas.....	153
Diferentes modelos de filtros de ratos em declínio.....	157
Configurações de entrada.....	157

Configurações de saída.....	159
Modelo de porta única.....	161
Modelo com caixa d'água filtrada.....	161
Modelo com tubulação e válvula de isolamento.....	162
Modelo com galeria de tubos e calha de controle.....	163
Outros sistemas de filtração.....	164

Filtragem direta	164
Classificação da filtragem direta.....	164
Vantagens e desvantagens da filtragem direta	165
Parâmetros básicos para o projeto de sistemas de filtragem direta.....	166
Filtros rápidos de fluxo ascendente.....	169
Floculação.....	173
Sedimentação	174
Filtragem.....	174
Filtros de fluxo ascendente e descendente	178
Filtros Biflux.....	179
Filtros biológicos	180
Filtros rápidos biológicos	180
Retrolavagem do filtro biológico.....	182
Leito de filtro.....	184
Filtros biológicos lentos.....	185
Auxílios adicionais para filtros lentos	192
Pré-filtros.....	192
Dimensões do pré-filtro dinâmico.....	202
Dimensões do pré-filtro horizontal	204
Dimensões do filtro lento.....	204
CAPÍTULO 1: CONTROLE DO PROCESSO DE FILTRAGEM.....	205
Precisão dos instrumentos de monitoramento de filtração	206
Controle de lavagem	210
Análise do meio filtrante	217
Eficiência do filtro	225
Padrões de turbidez.....	226
Instrumentos para leitura de turbidez.....	227
Turbidez permitida da água filtrada	231
Índices de dureza do floco.....	234
Estudo microscópico da água	240
Filtros piloto para o controle do processo de coagulação-filtração	249
Filtros piloto para experimentação	250
Plantas de filtragem piloto automáticas	253
Análise bacteriológica	253
CAPÍTULO 11. TEORIA DA DESINFECÇÃO DA ÁGUA.....	257
Eficiência bacteriológica dos processos de clarificação.....	257
Velocidade com que a desinfecção é realizada	262
Fatores que influenciam a desinfecção	264
Modos de desinfecção da água.....	265
Desinfetantes físicos.....	266

X TEORIA E PRÁTICA DA PURIFICAÇÃO DA ÁGUA

Raios ultravioleta	266
Calor.....	266
Desinfetantes químicos	266
Desinfecção com cloro.....	267
Reações do cloro na água	269
Reações hidrolíticas.....	270
Reações de oxidação-redução.....	274
Reações do cloro com nitrogênio amoniacal.....	275
Reações do cloro com matéria orgânica e outros compostos químicos.....	276
O fenômeno do ponto de inflexão	281
Eficiência da desinfecção com cloro	285
Eficiência da cloração na destruição de bactérias	286

Eficiência da cloração na destruição de protozoários	288
Eficiência da cloração na destruição de vírus	289
Outros desinfetantes químicos	291
Iodo	291
Bromo	292
Prata ionizada	293
Ozônio	293
Dióxido de cloro	295
Comparação da atividade germicida de desinfetantes químicos.....	296
Recrescimento bacteriano em tubulações.....	297
Métodos de aplicação de cloro	298
Estimativa da dose de cloro.....	299
O valor TC (Concentração-Tempo).....	300
Base do parâmetro Ct	301
Cloro e compostos orgânicos.....	307
Interferências na cloração	311
CAPÍTULO 12. PROJETO DA PLANTA DE CLORAÇÃO.....	315
Capacidade das estações de cloração	316
Ponto de aplicação de cloro	317
Armazenamento e transporte de gás cloro.....	318
Medidas de segurança no manuseio e transporte de cloro.....	321
Evaporadores.....	322
Sistema de medição e controle	323
Sistema de injeção	327
Difusão e mistura rápida	330
Equipamentos de proteção.....	332
Toxicidade do cloro.....	334
Análise de resíduos de cloro	334
Analisador automático de cloro residual.....	335
Considerações práticas sobre o projeto de salas de cloração	339
Fluxogramas.....	348
CAPÍTULO 13 INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE NO TRATAMENTO DE ÁGUA	349
Instrumentação na Colômbia.....	349
Definições e escopos no projeto de sistemas de instrumentação e controle.....	350
Regulamentação.....	353

Controle de supervisão	353
Controle de otimização.....	353
Instrumentos e sua classificação.....	354
Características de um instrumento	354
<i>Faixa de medição</i>	354
Escopo (<i>span</i>).....	354
Erro.....	355
Incerteza de medição	355
<i>Precisão</i>	357
Exatidão (<i>precisão</i>)	357
Fator de serviço.....	358
<i>Zona morta</i>	358
<i>Sensibilidade</i>	359
<i>Repetibilidade</i>	359
Ruído.....	359
Histerese	359
Classificação de acordo com o instrumento	360

Instrumentos cegos.....	360
Instrumentos indicadores.....	360
Instrumentos de gravação.....	360
Elementos primários.....	360
Transmissores.....	360
Transdutores.....	360
Conversores.....	360
Receptores.....	361
Controladores.....	361
Elemento de controle final.....	361
Classificação de acordo com a variável do processo.....	361
Código de identificação do instrumento.....	361
Resumo.....	361
Critérios para a seleção de instrumentos.....	366
Princípios de controle automático.....	368
Verificação prévia.....	369
Controle de feedback.....	369
Pré-controle vs. controle de feedback.....	370
Considerações sobre o projeto de sistemas de instrumentação e controle.....	370
Condições locais.....	371
Benefícios do sistema.....	371
Seleção do sistema.....	372
Requisitos do sistema.....	373
Funções do sistema de instrumentação e controle.....	373
Disponibilidade do sistema.....	374
Documentação mínima.....	374
Compreensão e comprometimento.....	375
Relação automação-trabalhador.....	376
Por que projetar um sistema de instrumentação e controle em um PPA?.....	376
Importância e benefícios dos sistemas de projeto e controle.....	377
Objetivos do projeto de um sistema de instrumentação e controle.....	377
Primeiro objetivo.....	378

XII TEORIA E PRÁTICA DA PURIFICAÇÃO DA ÁGUA

Segundo alvo.....	378
Terceiro objetivo.....	379
Elaboração do fluxograma do processo.....	380
Processos básicos.....	380
Controle de fluxo.....	382
Dosagem de produtos químicos e mistura rápida.....	383
Instrumentação na entrada de água bruta.....	384
Instrumentação de água tratada quimicamente.....	385
Instrumentação após o colonizador.....	386
Instrumentação no efluente dos filtros.....	387
Ajustes finais na água.....	388
Introdução à análise de dados.....	390
Estatísticas básicas.....	390
Modelagem básica.....	396
Seleção de variáveis.....	396
Modelagem manual ou semimanual.....	397
Modelagem de software.....	402
Excel © Excel.....	402
Gnuplot © Gnuplot.....	403
BIBLIOGRAFIA.....	407

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 8. TEORIA DA FILTRAGEM DE água ua

Figura 8.1. Fluxo através de uma manta granular	2
Figura 8.2. Diferentes mecanismos que produzem o transporte de partículas até os grãos	7
Figura 8.3. Contato acidental de partículas com o meio filtrante.....	9
Figura 8.4. Impacto inercial.....	10
Figura 8.5. Distribuição de tamanho de partícula das partículas encontradas no efluente para os filtros na estação de tratamento em (EUA).....	10
Figura 8.6. Ação hidrodinâmica.....	11
Figura 8.7. Eficiência de remoção de partículas de um filtro devido a fenômenos de sedimentação, interceptação e difusão.....	12
Figura 8.8. Trajetória da partícula capturada pelas forças de Van der Waals.....	14
Figura 8.9. Diagrama esquemático que explica a ação dos polímeros em meios granulares ..	15
Figura 8.10. Esquema de remoção de um leito de filtro	18
Figura 8.11. Coeficiente de filtro em função do depósito específico	19
Figura 8.12. Taxa percentual de remoção de turbidez em diferentes camadas de um leito filtrante	22
Figura 8.13. Módulo de impedância λ vs. depósito específico σ	23
Figura 8.14. Efeito da abertura de vazios e rachaduras no leito do filtro de acordo com Baylis	23
Figura 8.15. Mecanismos de remoção de partículas no filtro	24

Figura 8.16. Queda de pressão vs. profundidade do filtro	26
Figura 8.17. Determinação dos tamanhos do meio filtrante e do coeficiente de tamanho do meio filtrante uniformidade, bem como tamanho efetivo.....	28
Figura 8.18. Queda de pressão final em um leito de filtro.....	35
Figura 8.19. Distribuição do tamanho das partículas, antes e após a filtragem da suspensão indicada	38
Figura 8.20. Potencial Z ao longo do tempo para diferentes pHs em várias profundidades. de roupa de cama	39
Figura 8.21. Relação entre pH, $P > Z >$ e eficiência do filtro.....	40
Figura 8.22. Efeito do pH na turbidez do efluente do filtro.....	41
Figura 8.23. Influência da temperatura no comprimento do curso de filtragem.....	41
Figura 8.24. Forma de trabalho de um filtro.....	42
Figura 8.25. Comportamento do floco em um leito de areia e antracito	44
Figura 8.26. Influência de diferentes dosagens de polieletrólitos sobre a perda de carga e a turbidez do efluente	45
Figura 8.27. Efeito do polieletrólito na turbidez do efluente durante mudanças bruscas na velocidade de filtração.....	46
Figura 8.28. Três estágios na retrolavagem de fluxo ascendente de um filtro.....	47
Figura 8.29. Perda de carga, profundidade do leito e porosidade de um leito filtrante para diferentes taxas de lavagem.....	48
Figura 8.30. Relação entre o coeficiente n e NR (com base na velocidade de sedimentação vS das partículas)	50
Figura 8.31. Relação entre velocidade e porosidade.....	52
Figura 8.32. Taxa de fluidização.....	52
Figura 8.33. Zonas nas curvas de densidade conjunta vs. velocidade. para materiais de diferentes densidades	55
Figura 8.34. Valores de ρ_c para diferentes velocidades de lavagem.....	56
Figura 8.35. Densidade da junta vs. velocidade de descarga ascendente para diferentes densidades (de acordo com Cleasby)	57
Figura 8.36. Densidade.....	60
Figura 8.37. Diâmetro.....	60
Figura 8.38. Diâmetros médios	62
Figura 8.39. Expansão de diferentes meios granulares quando lavados com velocidade ascendente de 0,60 m/min a C62.....	14
Figura 8.40. Velocidade mínima de fluidização para partículas de diferentes densidades de acordo com a fórmula de Wen e Yu.....	63
Figura 8.41. Expansão das camas.....	67

CAPÍTULO 9: PROJETO DE UNIDADES DE FILTRAGEM

Figura 9.1. Esquema das calhas de retrolavagem do filtro	71
Figura 9.2. Espessuras de cascalho recomendadas para filtros	76
Figura 9.3. Diferentes tipos de leitos filtrantes	78
Figura 9.4. Diferentes tipos de leitos filtrantes	81
Figura 9.5. Espessuras dos leitos filtrantes mistos	81
Figura 9.6. Queda de pressão desenvolvida ao longo de 20 horas de com uma velocidade de filtração de 2 mm/s	82
Figura 9.7. Comprimentos de execução e taxas de remoção. Fase 1	87
Figura 9.8. Comprimento do curso de filtração e taxas de remoção. Fase 2	87
Figura 9.9. Produtividade para diferentes valores da relação l/d e diferentes taxas de filtração 500 e 400m ³ /m ² /d	87
Figura 9.10. Porcentagem de água usada para diferentes execuções de filtração	89
Figura 9.11. Produção de água para diferentes raças e ratos filtração, por 8 minutos de lavagem a 0,75 m/min	90
Figura 9.12. Distribuição da perda de carga em leitos de areia e antracito	91
Figura 9.13. Variação da distribuição da queda de pressão com a velocidade. de filtração	92
Figura 9.14. Pressões na seção transversal de um leito de filtro	92
Figura 9.15. Entupimento de ar em um filtro	94
Figura 9.16. Encolhimento do leito do filtro e formação de bolas lama devido à lavagem inadequada	95
Figura 9.17. Fundo falso com malha (1913)	95
Figura 9.18. Início de um jato de areia na retrolavagem de um filtro rápido	96
Figura 9.19. Braços giratórios para lavagem de superfícies	99
Figura 9.20. Sistema de lavagem de superfície fixa	99
Figura 9.21. Sistema de lavagem de ar	100
Figura 9.22. Lavagem de superfície na fábrica do Distrito Sul de Chicago	100
Figura 9.23. Lavagem de um filtro com o fluxo das outras unidades	105
Figura 9.24. Sistema de coleta de água de lavagem	106
Figura 9.25. Diferentes seções de calhas de lavagem	107
Figura 9.26. Lençóis de água em uma calha	108
Figura 9.27. Exemplo de cálculo	108
Figura 9.28. Principal e laterais	110
Figura 9.29. Fundo do tubo com blocos Wagner	111
Figura 9.30. Sistema de tubulação e bocal	112
Figura 9.31. Fundo Weeler (lajes)	113
Figura 9.32. Fundo de Weeler	113
Figura 9.33. Fundo Leopold	114

Figura 9.34. Fundos Leopold de plástico para água e ar.....	115
Figura 9.35. Modelos de bocal	116
Figura 9.36. Fundo falso com vigas pré-fabricadas.....	117
Figura 9.37. Fundo falso com vigas pré-fabricadas.....	117
Figura 9.38. Sistema pré-fabricado de drenagem de ar e água.....	118
Figura 9.39. Fundo falso com placas porosas	119
Figura 9.40. Telhas pré-fabricadas porosas	119
Figura 9.41. Pressões em um coletor de distribuição de água.....	120
Figura 9.42. Soluções para má distribuição de fluxo em um coletor	121
Figura 9.43. Distribuição de pressão no dreno de um filtro para velocidades diferentes no tubo de entrada	122
Figura 9.44. Perda de carga produzida por diferentes tipos de drenos de filtro.....	123
Figura 9.45. Sistemas de controle.....	124
Figura 9.46. Tributário distribuído igualmente	125
Figura 9.47. Sistema típico de controle de fluxo de efluentes	126
Figura 9.48. Sifão <i>Neyrpic-Degremont</i>	127
Figura 9.49. Regulagem por válvula borboleta e válvula de flutuação	128
Figura 9.50. Comportamento hidráulico de um filtro com uma taxa de decaimento contínuo.....	129
Figura 9.51. Filtros de ratos em declínio em Barranquilla (Colômbia).....	130
Figura 9.52. Diagrama operacional típico de filtros de rato. declínio contínuo em Greensboro N.C. (EUA).....	130
Figura 9.53. Comportamento hidráulico de um filtro de rato em degrau decrescente	132
Figura 9.54. Filtros de taxa decrescente sem restrições de entrada ou saída	132
Figura 9.55. Filtro com taxa de decaimento escalonada e altas quedas de pressão quadráticas.....	133
Figura 9.56. Comportamento dos filtros piloto de taxa decrescente em Burham	136
Figura 9.57. Resultados obtidos por Di Bernardo e Cleasby (1979). em quatro filtros piloto trabalhando com taxa de decaimento gradual.....	137
Figura 9.58. Curso de filtragem.....	142
Figura 9.59. Comportamento hidráulico de quatro filtros trabalhando com taxa de decaimento escalonada de acordo com o modelo de simulação para baixa perda turbulenta ($K_e = 0,5$, $v = 0,325$ cm/s, $\alpha = 0,00002$, $\beta = 0,00001$, $b = 0,00001$, média $q = 325$ l/s.....	142
Figura 9.60. Aumento do nível durante a descarga para diferentes perdas de carga turbulenta ($V = 280$ m ³ /m ² /d = 0,324 cm, $\alpha = 0,0001625$, curso 48 horas de filtragem, perdas laminares no leito limpo = 0,42 m)	143
Figura 9.61. Proporção de fluxos máximos e mínimos em relação ao fluxo médio e a proporção de perdas turbulentas em relação à soma das perdas. perdas laminares + turbulentas ($V = 280$ m ³ /m ² /d = 0,324 cm/s); $\alpha = 0,0001625$, 48 horas de filtração, perdas laminares em	144
Figura 9.62. Níveis operacionais para diferentes perdas de carga, para filtros com retrolavagem convencional ($V = 0,323 = 260$ m ³ /m ² /d, $\alpha = 0,00005$, $\beta =$ 0,00005, $b = 0,000015$)	145

Figura 9.63. Bateria do filtro.....	148	
Figura 9.64. Número de unidades de filtragem vs. capacidade da usina, para trinta estações de purificação no Brasil.	153	
Figura 9.65. Alturas a serem calculadas em filtros de retrolavagem mútua e de rato decrescente.	155	155
Figura 9.66. Disposição da calha de lavagem nos filtros	156	
Figura 9.67. Configurações de entrada do filtro	158	
Figura 9.68. Configurações de saída em filtros.....	159	
Figura 9.69. Filtro de rato em declínio para descarga somente com água e um único damper duplex para operação.....	162	
Figura 9.70. Filtros de taxa decrescente para lavagem auxiliar e de fundo	162	
Figura 9.71. Filtros de taxa decrescente com uma válvula decantadora. interconexão externa e descarga de água.....	163	
Figura 9.72. Filtro para trabalho com um rato em declínio.....	163	
Figura 9.73. Filtro rápido com fluxo ascendente	170	
Figura 9.74. Comparação do sistema hidráulico do filtro fluxo ascendente e fluxo descendente	171	
Figura 9.75. Esquema de um filtro de fluxo ascendente para trabalhar com um rato em decomposição	171	171
Figura 9.76. Esquema de um filtro de fluxo ascendente para operação com taxa constante.	172	
Figura 9.77. Seção transversal de filtros de fluxo ascendente e descendente.....	178	
Figura 9.78. Instalação de filtro de fluxo ascendente e fluxo descendente.....	179	
Figura 9.79. Filtro rápido com fluxo ascendente e fluxo descendente.....	179	
Figura 9.80. Produção e remoção de BOM em uma estação de tratamento.....	182	
Figura 9.81. Turbidez e remoção de bactérias durante uma lavagem de volume constante a 60 % de expansão.....	183	
Figura 9.82. Filtros lentos	186	
Figura 9.83. Planos de fundo para filtros lentos	187	
Figura 9.84. Filtro lento com controle de entrada.....	188	
Figura 9.85. Sistemas de controle de velocidade de filtragem de saída em filtros lentos.....	189	
Figura 9.86. Número de bactérias totais no efluente de um filtro lento	191	
Figura 9.87. Pré-filtros de cascalho de fluxo ascendente	194	
Figura 9.88. Pré-filtro dinâmico	196	
Figura 9.89. Configurações de sistemas de drenagem com tubulação para filtros dinâmicos	198	
Figura 9.90. Pré-filtros de fluxo horizontal	200	
Figura 9.91. Comportamento piezométrico em um pré-filtro de fluxo horizontal	201	
Figura 9.92. Esquema de um pré-filtro de cascalho de fluxo horizontal para 5 l/s.....	204	

CAPÍTULO I: CONTROLE DO PROCESSO DE FILTRAGEM

Figura 10.1 Escala para medir a taxa de filtração	207
Figura 10.2 Colocação de piezômetros em uma galeria de filtros.....	208

Figura 10.3.	Pulsões em controladores de fluxo	209
Figura 10.4.	Amostras para determinação da turbidez da água de lavagem	211
Figura 10.5.	Duração da lavagem	212
Figura 10.6.	Sistemas para medir a expansão da areia durante a lavagem	214
Figura 10.7.	Perfil de cascalho	215
Figura 10.8.	Dados de topografia de cascalho em um filtro.....	216
Figura 10.9.	Topografia de um leito de cascalho da estação de tratamento A.....	216
Figura 10.10.	Amostrador de areia.....	217
Figura 10.11.	Exemplo de análise de tamanho de partícula de uma areia de filtro.....	218
Figura 10.12.	Exemplo de análise de tamanho de partícula de um meio filtrante	219
Figura 10.13.	Obtenção de bolas de lama.....	220
Figura 10.14.	Aparelho para medir a dureza de um material	225
Figura 10.15.	Controle do processo de filtragem.....	225
Figura 10.16.	Varição de ID, I em um Turbidímetro Jackson	227
Figura 10.17.	Turbidímetro Hellige.....	228
Figura 10.18.	Luz submersa.....	229
Figura 10.19.	Divulgação Turbidímetro fotoelétrico	230
Figura 10.20.	Turbidímetro digital	230
Figura 10.21.	Turbidímetro de Disseminação de Superfície.....	232
Figura 10.22.	Comparação entre escalas de turbidímetro	232
Figura 10.23.	Correlação entre a turbidez média da água filtrada e casos de hepatite nos Estados Unidos (II).....	233
Figura 10.24.	Passagem de vírus e flocos em um filtro de areia e antracito	234
Figura 10.25.	Diagrama de um contador Coulter.....	236
Figura 10.26.	Correlação entre índice de partículas, número de partículas, número de partículas 2-5 mm	237
Figura 10.27.	Solubilidade do Al+++ em diferentes pH e temperaturas.....	239
Figura 10.28.	Taxa de fluxo para diferentes gastos produzidos por um filtro cilíndrico experimental com 10 e 15 cm de diâmetro.....	242
Figura 10.29.	Esquema dos filtros piloto (vista frontal)	244
Figura 10.30.	Esquema dos filtros piloto (vista lateral)	245
Figura 10.31.	Reguladores de controle para filtros piloto	247
Figura 10.32.	Diferentes maneiras de extrair amostras do água em diferentes níveis do leito do filtro	248
Figura 10.33.	Conexão do piezômetro	249
Figura 10.34.	Controle do processo de filtragem.....	251
Figura 10.35.	Filtros experimentais montados na galeria de operação. da estação de tratamento El Pórtico, Cúcuta, Colômbia.....	252
Figura 10.36.	Teoria e prática da purificação da água	254

CAPÍTULO 11: TEORIA DA DESINFECÇÃO DA ÁGUA

Figura 11.1 Tamanhos comparativos de microflocos, bactérias e vírus	258
Figura 11.2 Taxa de remoção de bactérias de uma água coagulada e sedimentada	259
Figura 11.3. Remoção do vírus T4 por coagulação e floculação de água	260
Figura 11.4. Efeito da taxa de filtração na remoção de vírus. de pólio I em areia limpa, grossa e fina (sem coagulantes).....	261
Figura 11.5. Remoção de vírus com e sem auxílio de coagulação em filtros de areia e antracito Dose de sulfato de alumínio 10 mg/l, turbidez de água bruta 40, taxa de filtração 350m ³ /m ² /d	261
Figura 11.6. Representação gráfica da lei de Chick	263
Figura 11.7 Relação entre a concentração e o tempo que o ácido leva para O hipocloroso (HOCl) destrói diferentes microorganismos a 0-6°C	265
Figura 11.8 Sobrevivência de E. coli e S. typhosa em diferentes pHs.....	266
Figura 11.9. Relação pH-tempo para a destruição de 99% do vírus da poliomielite a 25°C.....	267
Figura 11.10. Viscosidade do cloro líquido e gasoso em várias temperaturas	269
Figura 11.11. Densidade do cloro líquido em várias temperaturas	269
Figura 11.12. Solubilidade do cloro na água em diferentes temperaturas	270
Figura 11.13. Porcentagem de HOCl e OCl ⁻ em diferentes valores de pH.....	272
Figura 11.14. Proporções de cloro molecular e ácido hipocloroso em diferentes soluções de cloro a 25°C.....	273
Figura 11.15. Representação simplificada do átomo de cloro	274
Figura 11.16. Distribuição de mono e dicloramina para diferentes valores de pH	276
Figura 11.17. Teoria e prática da purificação da água	277
Figura 11.18. Como a demanda por cloro é exercida por meio da tempo para água bruta do Lago St Clair (EUA).....	277
Figura 11.19. Crescimento dos trihalometanos (THMS) com o tempo na Planta de Filtração Diemer (1989), de acordo com (Arboleda, 2000). Observe que os THMS crescem de forma semelhante à maneira como o fazem. faz a afirmação	280
Figura 11.20. Curva de ponto de ruptura para diferentes concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal	282
Figura 11.21. Relação teórica de cloro e nitrogênio na curva do ponto de interrupção.....	283
Figura 11.22. Variações da curva do ponto de ruptura para os tempos de contato indicados. Planta de amolecimento para Louis Country, EUA	284
Figura 11.23. Curvas de ponto de ruptura para diferentes Concentrações de V na água.....	285
Figura 11.24. Propriedades bactericidas do cloro livre e das cloraminas	287
Figura 11.25. Relação entre concentração e tempo de destruição 99% de E. coli a 2-6°C	288

Figura 11.26. Concentração de cloro livre necessária para matar o 99,99% dos cistos de <i>E. histolytica</i> e <i>E. coli</i> , T=2-5°C.....	288
Figura 11.27. Relação entre a concentração e o tempo em que o ácido hipocloroso (HOCl) destrói diferentes microrganismos a 0-6 °C	290
Figura 11.28. Distribuição de I ₂ e HOI a 20°C e nos pHs indicados.....	291
Figura 11.29. Relação concentração-tempo para destruir 99,9 % de microrganismos com I ₂ e HOI a 18°C.....	292
Figura 11.30. Geração de ozônio.....	294
Figura 11.31. Aplicação de dióxido de cloro	295
Figura 11.32. Diferentes compostos de cloro que são formados dependendo do e a proporção de cloro e nitrogênio	298
Figura 11.33. Variação com o pH e a temperatura dos valores de K para a destruição de coliformes com cloro livre.....	
Figura 11.34. Determinação da dose de cloro	304
Figura 11.35. Definição de alguns trihalometanos	308
Figura 11.36. Odor incipiente de fenol associado	313

CAPÍTULO 12. PROJETO DA PLANTA DE CLORAÇÃO

Figura 12.1. Tamanhos de cilindros de gás cloro	319
Figura 12.2. Tanque fixo com concha protetora	320
Figura 12.3. Sistema de conexão do cilindro de cloro (esquema)	321
Figura 12.4. Tanques.....	322
Figura 12.5. Câmara do tanque	322
Figura 12.6. Tanque rebocável	323
Figura 12.7. Diagrama de instalação de um evaporador	323
Figura 12.8. Esquema de um aplicador de pressão de cloro	325
Figura 12.9. Esquema de um aplicador de cloro a vácuo	325
Figura 12.10. Dispositivos de controle de fluxo de cloro	327
Figura 12.11. Injetor de cloro	327
Figura 12.12. Sistemas difusores	330
Figura 12.13. Projeto de estações de cloração	331
Figura 12.14. Estação de cloração.....	331
Figura 12.15. Sistema de cloração com clorador a vácuo.....	331
Figura 12.16. Sistema de cloração com evaporador remoto e ejetor	333
Figura 12.17. Operação manual do clorador (sistema de controle I)	337
Figura 12.18. Operação manual do clorador com analisador Monitoramento e alarmes automáticos de cloro (sistema de controle II)	337
Figura 12.19. Cloração com circuito aberto (sistema de controle III)	338
Figura 12.20. Cloração em circuito fechado (sistema de controle IV)	338
Figura 12.21. Cloração com circuito composto (sistema de controle V).....	339

Figura 12.22.	Fornecimento de uma sala de cloração	343
Figura 12.23.	Largura de uma sala de cloração	344
Figura 12.24.	Sistema de ventilação forçada de uma sala de cloração	345
Figura 12.25.	Sistema de injeção de cloro em tubos e canais abertos	346
Figura 12.26.	Diagrama de fluxo de uma estação de cloração com evaporadores e injetores remotos com três pontos de aplicação nos tubos	347

CAPÍTULO 13 INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Figura 13.1.	Circuito fechado vs. circuito aberto	352
Figura 13.2.	Instrumento multiparamétrico para medição da qualidade da água	354
Figura 13.3.	Representação gráfica da precisão, exatidão e incerteza	358
Figura 13.4.	Exemplo de arquitetura de design	375
Figura 13.5.	Imagem do <i>software do</i> instrumento da planta Tratamento de água potável	377
Figura 13.6.	CIM Pyramid.....	380
Figura 13.7.	Processos básicos de um PPP.....	381
Figura 13.8.	Instrumentação para monitorar o fluxo do PPA	383
Figura 13.9.	Instrumentação de dosagem química	384
Figura 13.10.	Instrumentação para o controle da água bruta da PPA	385
Figura 13.11.	Instrumentação de água tratada quimicamente	386
Figura 13.12.	Instrumentação no efluente do decantador (opcional)	386
Figura 13.13.	Instrumentação no efluente do filtro	387
Figura 13.14.	Instrumentação final e diagrama completo	388
Figura 13.15.	Sistema de purificação de água para El Guamo	389
Figura 13.16.	Exemplo de uma distribuição bimodal	392
Figura 13.17.	Histograma segundo tabela de frequência	396
Figura 13.18.	Representação da linearização da equação 1.....	399
Figura 13.19.	Representação da linearização da equação 2.....	399
Figura 13.20.	Representação da linearização da equação 3.....	
Figura 13.21.	Representação da linearização da equação 7.....	401
Figura 13.22.	Representação da linearização da equação 8.....	401
Figura 13.23.	Representação da linearização da equação 9.....	402
Figura 13.24.	Modelo de comparação vs. resultados experimentais.....	404

Sistema de informações on-line



No final do livro, o senhor encontrará o código para entrar no **Sistema de Informações Online - SIL**.
- onde o senhor poderá acessar apresentações em Power Point de cada capítulo, para uso de professores e do público em geral.