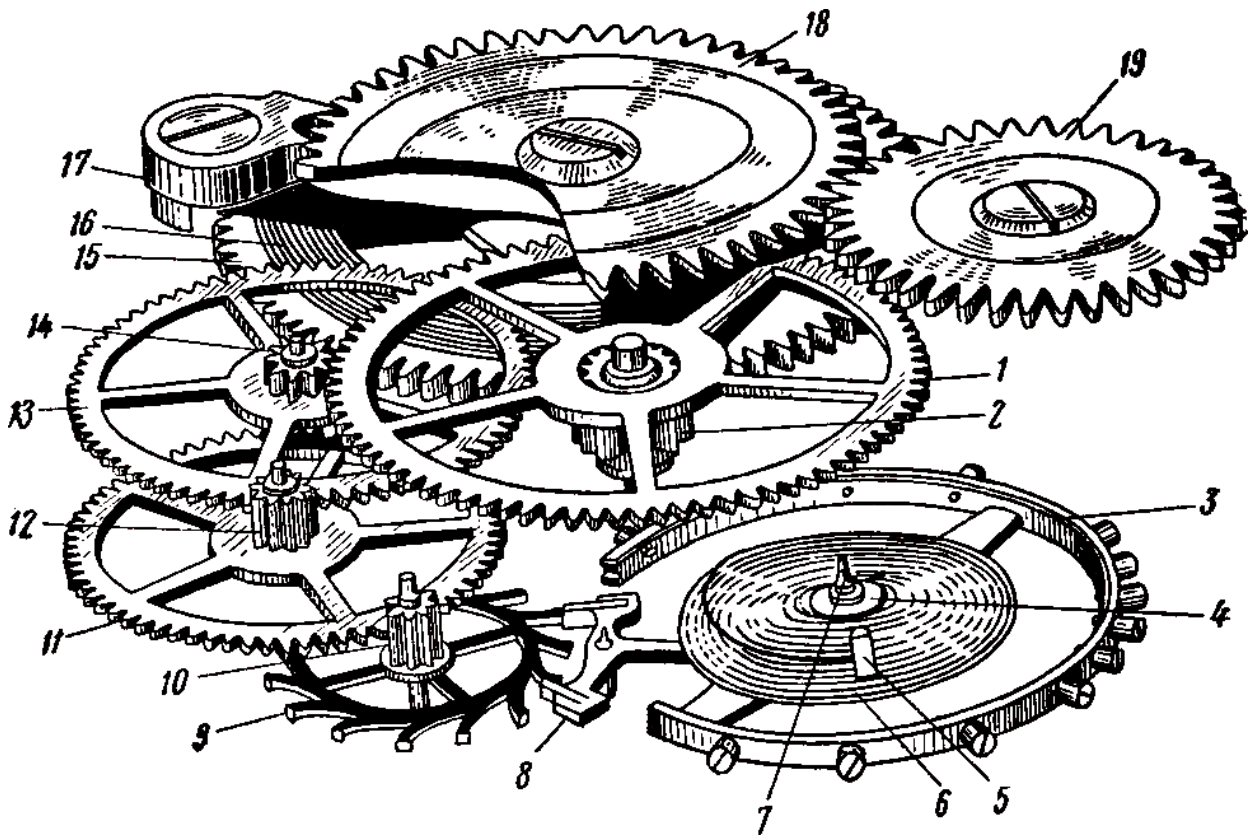


SISTEMAS OPERACIONAIS: CONCEITOS E MECANISMOS

PROF. CARLOS A. MAZIERO

DINF - UFPR



Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

M476s

Maziero, Carlos Alberto

Sistemas operacionais: conceitos e mecanismos [recurso eletrônico] /
Carlos Alberto Maziero. – Curitiba : DINF - UFPR, 2019.

456 p. : il.; color.

ISBN: 978-85-7335-340-2. (E-book)

Inclui bibliografia.

1. Sistemas operacionais (Computadores). 2. Programação de sistemas
(Computação). 3. Gerenciamento de memória (Computação). 4. Segurança
de sistemas. I. Universidade Federal do Paraná. II. DINF -UFPR. III. Título.

CDD: 005.43

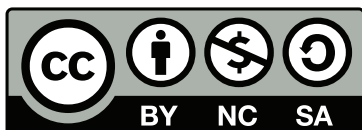
Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

Sistemas Operacionais: Conceitos e Mecanismos

© Carlos Alberto Maziero, 2013-2019

ISBN: 978-85-7335-340-2

Sobre o autor: Carlos A. Maziero é professor do Depto de Informática da Universidade Federal do Paraná (UFPR) desde 2015. Anteriormente, foi professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), entre 2011 e 2015, professor da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), entre 1998 e 2011, e professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), de 1996 a 1998. Formado em Engenharia Elétrica (UFSC, 1988), tem Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSC, 1990), Doutorado em Informática (Université de Rennes I - França, 1994) e Pós-Doutorados na Università degli Studi di Milano – Italia (2009) e no IRISA/INRIA Rennes – França (2018). Atua em ensino e pesquisa nas áreas de sistemas operacionais, sistemas distribuídos e segurança de sistemas.



Este texto está licenciado sob a Licença *Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported* da *Creative Commons* (CC). Em resumo, você deve creditar a obra da forma especificada pelo autor ou licenciante (mas não de maneira que sugira que estes concedem qualquer aval a você ou ao seu uso da obra). Você não pode usar esta obra para fins comerciais. Se você alterar, transformar ou criar com base nesta obra, você poderá distribuir a obra resultante apenas sob a mesma licença, ou sob uma licença similar à presente. Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

Este texto foi produzido usando exclusivamente software livre: Sistema Operacional *GNU/Linux* (distribuições *Fedora* e *Ubuntu*), compilador de texto \LaTeX , gerenciador de referências *BibTeX*, editor gráfico *Inkscape*, criadores de gráficos *GNUPlot* e *GraphViz* e processador PS/PDF *GhostScript*, entre outros. Algumas figuras do texto usam ícones de <https://www.creativetail.com> e de outras fontes, sob licença *Creative Commons*.

Versão compilada em 22 de setembro de 2023.

Prefácio

Os sistemas operacionais são elementos fundamentais para o funcionamento de praticamente qualquer sistema de computação, dos minúsculos sistemas embarcados e telefones celulares aos gigantescos centros de processamento de dados das grandes empresas. Apesar da imensa diversidade de sistemas operacionais existentes, eles tentam resolver problemas de mesma natureza e seguem basicamente os mesmos princípios.

Conhecer sistemas operacionais a fundo não é algo reservado a *hackers*, mas importante para todo profissional de computação, pois os mecanismos implementados pelo sistema operacional afetam diretamente o comportamento e o desempenho das aplicações. Além disso, o sistema operacional é uma peça chave na configuração de serviços de rede e na segurança do sistema.

Existem muitos livros de sistemas operacionais disponíveis no mercado, quase todos muito bons, escritos por profissionais reconhecidos mundialmente. Entretanto, bons livros de Sistemas Operacionais podem custar centenas de reais, o que os torna inacessíveis a uma parcela significativa da população. Este livro seria apenas mais uma opção de compra nas livrarias, não fosse por um pequeno detalhe: foi concebido como um Livro Aberto, desde seu início. Um Livro Aberto (do inglês *Open Book*) é um livro amplamente disponível na Internet em formato digital, sem custo. No exterior, muitos *open books* estão também disponíveis nas livrarias, para aquisição em formato impresso.

Eu acredito que “inclusão digital” não significa somente permitir o acesso a computadores à parcela mais pobre da população, mas também desmistificar o funcionamento dessa tecnologia e incentivar seu estudo, para fomentar as próximas gerações de técnicos, engenheiros e cientistas, vindas de todas as classes sociais. Nosso país não pode mais se dar ao luxo de desperdiçar pessoas inteligentes somente porque são pobres.

Prof. Carlos Maziero, Dr.

Agradecimentos

Este texto é fruto de alguns anos de trabalho. Embora eu o tenha redigido sozinho, ele nunca teria se tornado uma realidade sem a ajuda e o apoio de muitas pessoas, de várias formas. Em primeiro lugar, agradeço à minha família, pelas incontáveis horas em que me subtraí de seu convívio para me dedicar a este trabalho.

Agradeço também a todos os docentes e estudantes que utilizaram este material, pelas inúmeras correções e sugestões de melhoria. Em particular, meus agradecimentos a Alexandre Koutton, Altair Santin, André Wosniack, Antônio Barros, Antônio Gonçalves, Carlos Roland, Carlos Silla, Diogo Olsen, Dorgival Guedes, Douglas da Costa, Fabiano Beraldo, Francisco Miamoto, Fred Maranhão, Jeferson Amend, Marcos Laureano, Paulo Resende, Rafael Hamasaki, Rafael Obelheiro, Rodrigo Piovezan, Richard Reichardt, Silvana Rossetto, Tadeu Ribeiro Reis, Thayse Solis, Thiago Ferreira, Thiago Vieira, Urlan de Barros e Vagner Sacramento.

Desejo expressar meu mais profundo respeito pelos autores dos grandes clássicos de Sistemas Operacionais, como Andrew Tanenbaum e Abraham Silberschatz, que iluminaram meus passos nesta área e que seguem como referências inequívocas e incontornáveis.

Agradeço à Pontifícia Universidade Católica do Paraná, onde fui professor de Sistemas Operacionais por 13 anos, pelas condições de trabalho que me permitiram dedicar-me a esta empreitada. Também à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, onde trabalhei de 2011 a 2015, e à UFPR, onde trabalho desde 2015, pelas mesmas razões.

Dedico os capítulos sobre segurança computacional deste livro aos colegas docentes e pesquisadores do Departamento de Tecnologias da Informação da Universidade de Milão em Crema, onde estive em um pós-doutorado no ano de 2009, com uma bolsa CAPES/MEC. Os capítulos sobre virtualização são dedicados à equipe ADEPT IRI-SA/INRIA, Université de Rennes 1 - França, na qual pude passar três meses agradáveis e produtivos durante o inverno 2007-08, como professor/pesquisador convidado.

Carlos Maziero

Curitiba PR, Abril de 2019

Sumário

| | |
|---|-----------|
| Parte I: Introdução | 1 |
| 1 Conceitos básicos. | 2 |
| 1.1 Objetivos de um SO. | 2 |
| <i>Abstração de recursos</i> | 3 |
| <i>Gerência de recursos</i> | 4 |
| 1.2 Funcionalidades. | 5 |
| 1.3 Categorias | 7 |
| 1.4 Um breve histórico dos SOs | 9 |
| 2 Estrutura de um SO | 13 |
| 2.1 Elementos do sistema operacional | 13 |
| 2.2 Elementos de hardware | 15 |
| <i>Arquitetura do computador</i> | 15 |
| <i>Interrupções e exceções</i> | 17 |
| <i>Níveis de privilégio</i> | 20 |
| 2.3 Chamadas de sistema. | 21 |
| 3 Arquiteturas de SOs | 27 |
| 3.1 Sistemas monolíticos | 27 |
| 3.2 Sistemas micronúcleo. | 28 |
| 3.3 Sistemas em camadas. | 30 |
| 3.4 Sistemas híbridos | 31 |
| 3.5 Arquiteturas avançadas | 32 |
| <i>Máquinas virtuais</i> | 32 |
| <i>Contêineres</i> | 33 |
| <i>Sistemas exonúcleo</i> | 34 |
| <i>Sistemas uninúcleo</i> | 35 |
| Parte II: Gestão de tarefas | 39 |
| 4 O conceito de tarefa | 40 |
| 4.1 Objetivos | 40 |
| 4.2 O conceito de tarefa. | 41 |
| 4.3 A gerência de tarefas | 42 |
| <i>Sistemas monotarefa</i> | 42 |
| <i>O monitor de sistema.</i> | 43 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| | <i>Sistemas multitarefas</i> | 44 |
| | <i>Sistemas de tempo compartilhado</i> | 44 |
| 4.4 | Ciclo de vida das tarefas | 47 |
| 5 | Implementação de tarefas | 51 |
| 5.1 | Contextos | 51 |
| 5.2 | Trocas de contexto | 52 |
| 5.3 | Processos | 54 |
| | <i>O conceito de processo</i> | 54 |
| | <i>Gestão de processos</i> | 55 |
| | <i>Hierarquia de processos</i> | 57 |
| 5.4 | Threads | 58 |
| | <i>Definição de thread</i> | 58 |
| | <i>Modelos de threads</i> | 59 |
| | <i>Programando com threads</i> | 62 |
| 5.5 | Uso de processos <i>versus threads</i> | 65 |
| 6 | Escalonamento de tarefas | 70 |
| 6.1 | Tipos de tarefas | 70 |
| 6.2 | Objetivos e métricas | 71 |
| 6.3 | Escalonamento preemptivo e cooperativo | 72 |
| 6.4 | Algoritmos de escalonamento de tarefas | 72 |
| | <i>First-Come, First Served (FCFS)</i> | 73 |
| | <i>Round-Robin (RR)</i> | 74 |
| | <i>Shortest Job First (SJF)</i> | 75 |
| | <i>Shortest Remaining Time First (SRTF)</i> | 76 |
| | <i>Escalonamento por prioridades fixas (PRIOc, PRIOp)</i> | 77 |
| | <i>Escalonamento por prioridades dinâmicas (PRIOd)</i> | 79 |
| | <i>Definição de prioridades</i> | 81 |
| | <i>Comparação entre os algoritmos apresentados</i> | 82 |
| | <i>Outros algoritmos de escalonamento</i> | 82 |
| 6.5 | Escalonadores reais | 83 |
| 7 | Tópicos em gestão de tarefas | 86 |
| 7.1 | Inversão e herança de prioridades | 86 |
| | Parte III: Interação entre tarefas | 91 |
| 8 | Comunicação entre tarefas | 92 |
| 8.1 | Objetivos | 92 |
| 8.2 | Escopo da comunicação | 93 |
| 8.3 | Aspectos da comunicação | 94 |
| | <i>Comunicação direta ou indireta</i> | 94 |
| | <i>Sincronismo</i> | 94 |
| | <i>Formato de envio</i> | 96 |
| | <i>Capacidade dos canais</i> | 98 |
| | <i>Confiabilidade dos canais</i> | 98 |
| | <i>Número de participantes</i> | 100 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 9 | Mecanismos de comunicação | 103 |
| 9.1 | Pipes | 103 |
| 9.2 | Filas de mensagens | 105 |
| 9.3 | Memória compartilhada | 107 |
| 10 | Coordenação entre tarefas | 112 |
| 10.1 | O problema da concorrência | 112 |
| | <i>Uma aplicação concorrente</i> | 112 |
| | <i>Condições de disputa</i> | 113 |
| | <i>Condições de Bernstein</i> | 115 |
| | <i>Seções críticas</i> | 115 |
| 10.2 | Exclusão mútua | 116 |
| | <i>Inibição de interrupções</i> | 117 |
| | <i>A solução trivial</i> | 117 |
| | <i>Alternância de uso</i> | 118 |
| | <i>O algoritmo de Peterson</i> | 119 |
| | <i>Operações atômicas</i> | 119 |
| 10.3 | Problemas | 121 |
| 11 | Mecanismos de coordenação | 123 |
| 11.1 | Semáforos | 123 |
| 11.2 | Mutexes | 126 |
| 11.3 | Variáveis de condição | 127 |
| 11.4 | Monitores | 129 |
| 12 | Problemas clássicos | 134 |
| 12.1 | Produtores/consumidores | 134 |
| | <i>Solução usando semáforos</i> | 135 |
| | <i>Solução usando variáveis de condição</i> | 136 |
| 12.2 | Leitores/escritores | 137 |
| | <i>Solução simplista</i> | 137 |
| | <i>Solução com priorização dos leitores</i> | 139 |
| 12.3 | O jantar dos selvagens | 140 |
| 12.4 | O jantar dos filósofos | 141 |
| 13 | Impasses | 148 |
| 13.1 | Exemplo de impasse | 148 |
| 13.2 | Condições para impasses | 150 |
| 13.3 | Grafos de alocação de recursos | 151 |
| 13.4 | Técnicas de tratamento de impasses | 152 |
| | <i>Prevenção de impasses</i> | 153 |
| | <i>Impedimento de impasses</i> | 154 |
| | <i>Deteção e resolução de impasses</i> | 155 |
| | | |
| | Parte IV: Gestão da memória | 160 |
| 14 | Hardware de memória | 161 |
| 14.1 | Tipos de memória | 161 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 14.2 | A memória física | 163 |
| 14.3 | Espaço de endereçamento | 163 |
| 14.4 | A memória virtual | 164 |
| 14.5 | Memória virtual por partições. | 165 |
| 14.6 | Memória virtual por segmentos. | 167 |
| 14.7 | Memória virtual por páginas | 170 |
| | <i>A tabela de páginas.</i> | 170 |
| | <i>Flags de status e controle.</i> | 172 |
| | <i>Tabelas multiníveis.</i> | 173 |
| | <i>Cache da tabela de páginas.</i> | 175 |
| 14.8 | Segmentos e páginas | 178 |
| 14.9 | Localidade de referências | 178 |
| 15 | Uso da memória | 184 |
| 15.1 | Espaço de endereçamento virtual de um processo | 184 |
| 15.2 | A memória de um processo | 185 |
| 15.3 | Alocação de variáveis. | 187 |
| | <i>Alocação estática</i> | 187 |
| | <i>Alocação automática</i> | 188 |
| | <i>Alocação dinâmica</i> | 189 |
| 15.4 | Atribuição de endereços | 190 |
| 16 | Alocação de memória | 194 |
| 16.1 | Alocadores de memória | 194 |
| 16.2 | Alocação básica | 195 |
| 16.3 | Fragmentação | 196 |
| | <i>Estratégias de alocação</i> | 197 |
| | <i>Desfragmentação</i> | 197 |
| | <i>Fragmentação interna</i> | 198 |
| 16.4 | O alocador Buddy. | 199 |
| 16.5 | O alocador Slab | 200 |
| 16.6 | Alocação no espaço de usuário | 202 |
| 17 | Paginação em disco. | 205 |
| 17.1 | Estendendo a memória RAM | 205 |
| 17.2 | A paginação em disco | 206 |
| | <i>Mecanismo básico</i> | 206 |
| | <i>Eficiência</i> | 209 |
| | <i>Critérios de seleção</i> | 210 |
| 17.3 | Algoritmos clássicos | 210 |
| | <i>Cadeia de referências</i> | 211 |
| | <i>Algoritmo FIFO</i> | 211 |
| | <i>Algoritmo Ótimo</i> | 211 |
| | <i>Algoritmo LRU.</i> | 212 |
| | <i>Algoritmo RANDOM</i> | 214 |
| | <i>Comparação entre algoritmos</i> | 214 |

| | | |
|---|--|------------|
| 17.4 | Aproximações do algoritmo LRU | 215 |
| | <i>Algoritmo da segunda chance</i> | 216 |
| | <i>Algoritmo NRU</i> | 216 |
| | <i>Algoritmo do envelhecimento</i> | 217 |
| 17.5 | Conjunto de trabalho | 218 |
| 17.6 | A anomalia de Belady | 220 |
| 17.7 | Thrashing | 221 |
| 18 | Tópicos em gestão de memória. | 226 |
| 18.1 | Compartilhamento de memória. | 226 |
| 18.2 | Copy-on-write (COW) | 228 |
| 18.3 | Mapeamento de arquivo em memória | 230 |
| Parte V: Gestão de entrada/saída | | 233 |
| 19 | Hardware de entrada/saída | 234 |
| 19.1 | Introdução | 234 |
| 19.2 | Componentes de um dispositivo | 235 |
| 19.3 | Barramentos de acesso | 237 |
| 19.4 | Interface de acesso | 239 |
| 19.5 | Endereçamento de portas | 241 |
| 19.6 | Interrupções | 242 |
| 20 | Software de entrada/saída. | 247 |
| 20.1 | Introdução | 247 |
| 20.2 | Arquitetura de software de entrada/saída | 247 |
| 20.3 | Classes de dispositivos | 248 |
| 20.4 | <i>Drivers</i> de dispositivos | 250 |
| 20.5 | Estratégias de interação | 251 |
| | <i>Interação controlada por programa.</i> | 251 |
| | <i>Interação controlada por eventos.</i> | 253 |
| | <i>Acesso direto à memória</i> | 256 |
| 20.6 | Tratamento de interrupções | 258 |
| 21 | Discos rígidos. | 262 |
| 21.1 | Introdução | 262 |
| 21.2 | Estrutura física | 262 |
| 21.3 | Interface de acesso | 263 |
| 21.4 | Escalonamento de acessos | 264 |
| 21.5 | Sistemas RAID | 270 |
| Parte VI: Gestão de arquivos | | 277 |
| 22 | O conceito de arquivo | 278 |
| 22.1 | Elementos básicos. | 278 |
| 22.2 | Atributos e operações. | 279 |
| 22.3 | Formatos de arquivos. | 281 |
| | <i>Sequência de bytes</i> | 281 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| | <i>Arquivos de registros</i> | 281 |
| | <i>Arquivos de texto</i> | 282 |
| | <i>Arquivos de código</i> | 283 |
| | <i>Identificação de conteúdo</i> | 284 |
| 22.4 | Arquivos especiais | 285 |
| 23 | Uso de arquivos | 288 |
| 23.1 | Introdução | 288 |
| 23.2 | Interface de acesso | 288 |
| | <i>Descritores de arquivos</i> | 290 |
| | <i>A abertura de um arquivo</i> | 290 |
| 23.3 | Formas de acesso | 291 |
| | <i>Acesso sequencial</i> | 291 |
| | <i>Acesso aleatório</i> | 292 |
| | <i>Acesso mapeado em memória</i> | 292 |
| | <i>Acesso indexado</i> | 292 |
| 23.4 | Compartilhamento de arquivos | 293 |
| | <i>Travas em arquivos</i> | 293 |
| | <i>Semântica de acesso</i> | 294 |
| 23.5 | Controle de acesso | 296 |
| 23.6 | Interface de acesso | 297 |
| 24 | Sistemas de arquivos | 301 |
| 24.1 | Introdução | 301 |
| 24.2 | Arquitetura geral | 301 |
| 24.3 | Espaços de armazenamento | 303 |
| | <i>Discos e partições</i> | 303 |
| | <i>Montagem de volumes</i> | 304 |
| 24.4 | Gestão de blocos | 306 |
| | <i>Blocos físicos e lógicos</i> | 306 |
| | <i>Caching de blocos</i> | 307 |
| 24.5 | Alocação de arquivos | 308 |
| | <i>Alocação contígua</i> | 309 |
| | <i>Alocação encadeada simples</i> | 311 |
| | <i>Alocação encadeada FAT</i> | 312 |
| | <i>Alocação indexada simples</i> | 313 |
| | <i>Alocação indexada multinível</i> | 315 |
| | <i>Análise comparativa</i> | 319 |
| 24.6 | Gestão do espaço livre | 319 |
| 25 | Diretórios e atalhos | 324 |
| 25.1 | Diretórios | 324 |
| 25.2 | Caminhos de acesso | 326 |
| 25.3 | Implementação de diretórios | 327 |
| 25.4 | Atalhos | 328 |
| 25.5 | Implementação de atalhos | 329 |
| 25.6 | Tradução dos caminhos de acesso | 331 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 26 | Conceitos básicos de segurança | 336 |
| 26.1 | Propriedades e princípios de segurança | 336 |
| 26.2 | Ameaças | 338 |
| 26.3 | Vulnerabilidades | 339 |
| 26.4 | Ataques | 341 |
| 26.5 | Malwares. | 343 |
| 26.6 | Infraestrutura de segurança | 344 |
| 27 | Fundamentos de criptografia | 349 |
| 27.1 | Terminologia. | 349 |
| 27.2 | Cifradores, chaves e espaço de chaves | 350 |
| 27.3 | O cifrador de Vernam-Mauborgne | 351 |
| 27.4 | Criptografia simétrica | 353 |
| | <i>Cifradores de substituição e de transposição</i> | 353 |
| | <i>Cifradores de fluxo e de bloco.</i> | 356 |
| 27.5 | O acordo de chaves de Diffie-Hellman-Merkle | 358 |
| 27.6 | Criptografia assimétrica | 360 |
| 27.7 | Criptografia híbrida. | 362 |
| 27.8 | Resumo criptográfico. | 363 |
| 27.9 | Assinatura digital. | 365 |
| 27.10 | Certificado de chave pública. | 366 |
| 27.11 | Infraestrutura de chaves públicas. | 367 |
| 28 | Autenticação | 371 |
| 28.1 | Introdução | 371 |
| 28.2 | Usuários e grupos. | 371 |
| 28.3 | Estratégias de autenticação | 372 |
| 28.4 | Senhas | 373 |
| 28.5 | Senhas descartáveis. | 374 |
| 28.6 | Técnicas biométricas | 375 |
| 28.7 | Desafio/resposta. | 377 |
| 28.8 | Certificados de autenticação. | 378 |
| 28.9 | Infraestruturas de autenticação | 379 |
| 28.10 | Kerberos | 380 |
| 29 | Controle de acesso | 384 |
| 29.1 | Terminologia. | 384 |
| 29.2 | Políticas, modelos e mecanismos | 384 |
| 29.3 | Políticas discricionárias. | 386 |
| | <i>Matriz de controle de acesso</i> | 386 |
| | <i>Tabela de autorizações</i> | 387 |
| | <i>Listas de controle de acesso.</i> | 388 |
| | <i>Listas de capacidades</i> | 389 |
| 29.4 | Políticas obrigatórias | 390 |
| | <i>Modelo de Bell-LaPadula.</i> | 391 |
| | <i>Modelo de Biba</i> | 391 |
| | <i>Categorias</i> | 393 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 29.5 | Políticas baseadas em domínios e tipos. | 393 |
| 29.6 | Políticas baseadas em papéis | 395 |
| 29.7 | Mecanismos de controle de acesso | 396 |
| | <i>Infraestrutura básica</i> | 397 |
| | <i>Controle de acesso em UNIX</i> | 398 |
| | <i>Controle de acesso em Windows</i> | 400 |
| | <i>Outros mecanismos</i> | 400 |
| 29.8 | Mudança de privilégios | 402 |
| 30 | Mecanismos de auditoria | 413 |
| 30.1 | Introdução | 413 |
| 30.2 | Coleta de dados | 413 |
| 30.3 | Análise de dados | 415 |
| 30.4 | Auditoria preventiva | 416 |
| | Parte VIII: Virtualização | 419 |
| 31 | O conceito de virtualização | 420 |
| 31.1 | Um breve histórico | 420 |
| 31.2 | Interfaces de sistema | 421 |
| 31.3 | Compatibilidade entre interfaces | 422 |
| 31.4 | Virtualização de interfaces | 424 |
| 31.5 | Virtualização versus abstração | 426 |
| 32 | Tipos de máquinas virtuais | 428 |
| 32.1 | Critérios de classificação | 428 |
| 32.2 | Máquinas virtuais de sistema | 429 |
| 32.3 | Máquinas virtuais de sistema operacional | 431 |
| 32.4 | Máquinas virtuais de processo | 433 |
| 33 | Construção de máquinas virtuais | 437 |
| 33.1 | Definição formal | 437 |
| 33.2 | Suporte de hardware | 439 |
| 33.3 | Níveis de virtualização | 441 |
| 33.4 | Técnicas de virtualização. | 443 |
| | <i>Emulação completa</i> | 443 |
| | <i>Virtualização da interface de sistema</i> | 444 |
| | <i>Tradução dinâmica</i> | 444 |
| | <i>Paravirtualização</i> | 445 |
| 33.5 | Aspectos de desempenho | 447 |
| 33.6 | Migração de máquinas virtuais | 448 |
| 34 | Virtualização na prática | 451 |
| 34.1 | Aplicações da virtualização | 451 |
| 34.2 | Ambientes de máquinas virtuais | 452 |
| | <i>VMware</i> | 453 |
| | <i>Xen</i> | 453 |
| | <i>QEMU</i> | 454 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| <i>KVM</i> | 455 |
| <i>Docker</i> | 456 |
| <i>JVM</i> | 456 |
| <i>FreeBSD Jails</i> | 457 |
| <i>Valgrind</i> | 458 |
| <i>User-Mode Linux</i> | 458 |

Apêndices **460**

| | |
|--|------------|
| A O descritor de tarefa do Linux | 461 |
|--|------------|