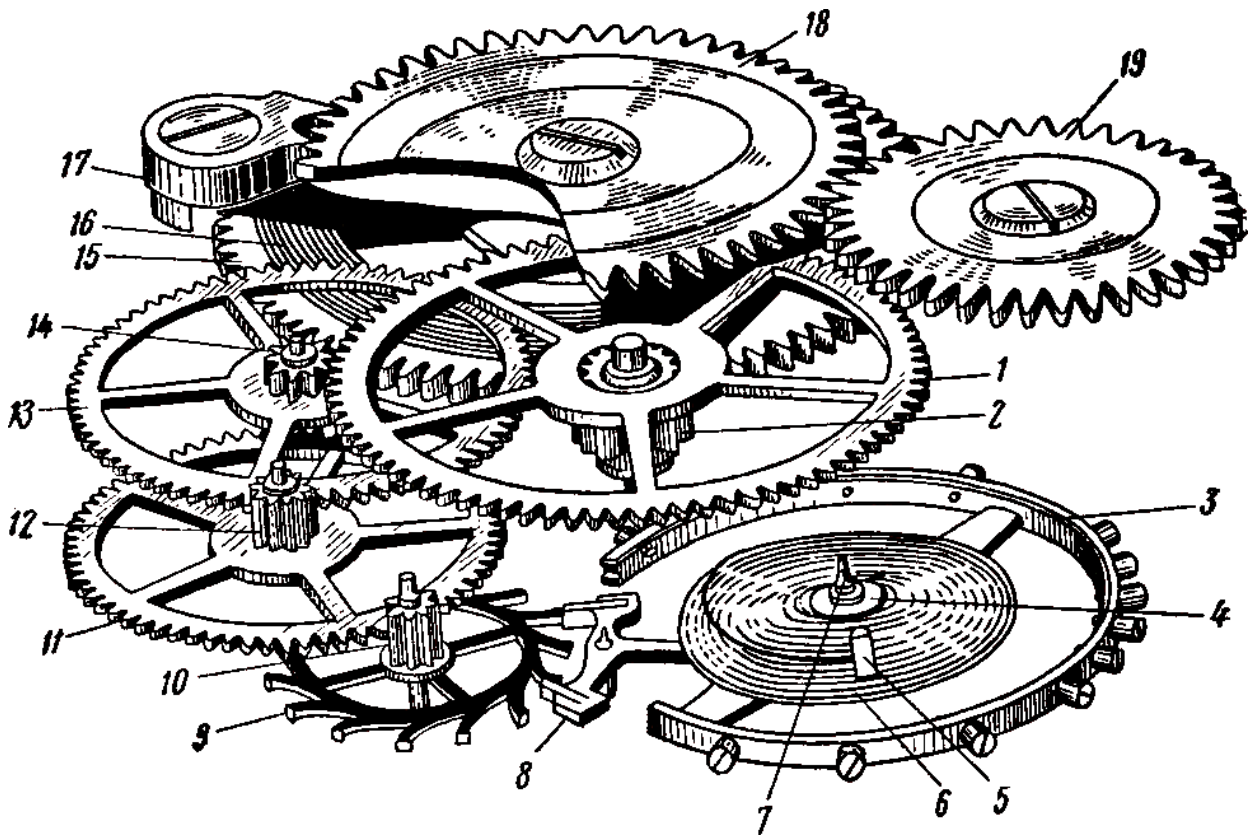


SISTEMAS OPERACIONAIS: CONCEITOS E MECANISMOS

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

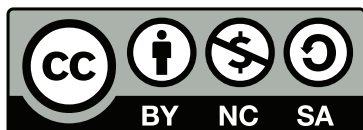
Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

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 $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$, 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 1 de setembro de 2020.

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, 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>	80
	<i>Comparação entre os algoritmos apresentados</i>	82
	<i>Outros algoritmos de escalonamento</i>	82
6.5	Escalonadores reais	82
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
--	------------