

SUMÁRIO

PREFÁCIO	
<i>por Alvaro Toubes Prata</i>	15
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	17
1.1 DEFINIÇÃO DE SISTEMA HIDRÁULICO	17
1.2 CAMPO DE APLICAÇÃO DA HIDRÁULICA	19
1.3 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS	20
1.4 BREVE APANHADO DA EVOLUÇÃO HISTÓRICA	22
Capítulo 2 – FUNDAMENTAÇÃO HIDROMECÂNICA	25
2.1 HIDROSTÁTICA	25
2.1.1 Variação da pressão em um fluido em repouso.....	25
2.1.2 Pressão em fluido confinado. Princípio de Pascal	27
2.2 HIDRODINÂMICA	30
2.2.1 Conservação da massa. Equação da continuidade	30
2.2.2 Estudo de caso: acionamento hidrostático	35
2.2.3 Conservação da energia. Equação de Bernoulli	38
2.2.3.1 Aplicação da equação de Bernoulli. Escoamento em restrições	42
2.2.3.2 Exemplo de aplicação da equação da vazão. Escoamento em válvula direcional	44
2.2.4 Conservação da quantidade de movimento	46
2.2.4.1 Aplicações da equação da quantidade de movimento linear	47
2.2.4.2 Estudo de caso: força de escoamento em válvula direcional	51
2.2.4.3 Exemplo: estimativa da força de escoamento em válvula direcional	56
2.2.5 Conservação da energia. Primeira lei da termodinâmica	58
2.2.6 Viscosidade e quantidades correlatas	62
2.2.7 Características dos escoamentos internos. Perda de carga	64
2.2.7.1 Número de Reynolds. Escoamentos laminar e turbulento	64
2.2.7.2 Escoamento em dutos. Diâmetro hidráulico	65
2.2.7.3 Escoamento laminar em dutos	67
2.2.7.4 Escoamento laminar em dutos de seção não circular	72

2.2.7.5 Escoamento turbulento em dutos	76
2.2.7.6 Considerações de energia. Perda de carga em canalizações	77
2.2.7.7 Perda de carga em orifícios	88
2.2.7.8 Determinação da perda de carga em linhas de transmissão	91
EXERCÍCIOS SELECIONADOS	94
Capítulo 3 – FLUIDOS HIDRÁULICOS	99
3.1 PROPRIEDADES DOS FLUIDOS HIDRÁULICOS	100
3.1.1 Massa específica (ρ)	100
3.1.2 Peso específico (γ)	101
3.1.3 Densidade (d)	101
3.1.4 Viscosidade	102
3.1.4.1 Variação da viscosidade em relação à temperatura. Índice de viscosidade (IV).....	102
3.1.4.2 Variação da viscosidade com a pressão	105
3.1.5 Compressibilidade (κ) e expansão térmica (α)	106
3.1.5.1 Módulo de compressibilidade (β_ℓ)	108
3.1.5.2 Módulo de compressibilidade efetivo (β_e)	109
3.1.5.3 Expansão térmica. Variação da massa específica com a temperatura.....	114
3.1.6 Capacidade de dissolução de gás	115
3.1.7 Pressão de vapor e cavitação	117
3.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS	119
3.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS E CARACTERÍSTICAS GERAIS	122
3.4 TIPOS DE FLUIDOS HIDRÁULICOS	126
3.4.1 Fluidos derivados de petróleo	126
3.4.2 Fluidos especiais	128
3.5 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A VISCOSIDADE	132
3.6 RESUMO DAS ESPECIFICAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS HIDRÁULICOS	133
EXERCÍCIOS SELECIONADOS	136
Capítulo 4 – CONVERSÃO DE ENERGIA	141
4.1 INTRODUÇÃO	141
4.1.1 Princípio de deslocamento. Classificação das máquinas hidrostáticas	143
4.2 PRINCÍPIO DE DESLOCAMENTO POR ENGRENAGENS	144

4.2.1	Bomba e motor de engrenagens externas	144
4.2.1.1	Determinação da vazão teórica	146
4.2.1.2	Distribuição de pressão e forças radiais	147
4.2.1.3	Sistemas de compensação de forças e vazamentos	148
4.2.2	Bombas de engrenagens internas	150
4.2.2.1	Bomba tipo gerotor	152
4.2.2.2	Compensação de forças e vazamentos	153
4.3	PRINCÍPIO DE DESLOCAMENTO POR PARAFUSOS	155
4.3.1	Bomba de parafusos	155
4.4	PRINCÍPIO DE DESLOCAMENTO POR PALHETAS	156
4.4.1	Bomba celular de palhetas de deslocamento fixo	158
4.4.1.1	Bomba não compensada	158
4.4.1.2	Compensação de forças	159
4.4.1.3	Estanqueidade, força de atrito e desgaste	160
4.4.2	Bomba celular de palhetas de deslocamento variável	161
4.4.3	Compensação de pressão em bomba variável	163
4.5	PRINCÍPIO DE DESLOCAMENTO POR PISTÔES	165
4.5.1	Máquinas de pistões axiais	165
4.5.1.1	Máquinas de prato inclinado	166
4.5.1.2	Máquinas de eixo inclinado	167
4.5.1.3	Determinação e controle do deslocamento	169
4.5.2	Máquinas de pistões radiais	171
4.5.2.1	Máquina com acesso interno e articulação externa	171
4.5.2.2	Máquina com acesso externo e articulação interna	172
4.5.2.3	Determinação do deslocamento	173
4.6	IRREGULARIDADE EM MÁQUINAS HIDROSTÁTICAS	174
4.7	EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS COM PERDAS. ANÁLISE DE REGIME PERMANENTE	179
4.7.1	Vazão real. Definição do rendimento volumétrico	180
4.7.2	Torque real. Definição do rendimento mecânico	181
4.7.3	Potências útil e de acionamento. Rendimento global	183
4.8	CURVAS DE DESEMPENHO	185
4.8.1	Máquinas de deslocamento fixo e variável pré-fixado	185
4.8.2	Curvas de operação de bombas de deslocamento fixo com válvula limitadora de pressão	189
4.8.3	Curvas de operação de bombas de deslocamento variável com compensação de pressão	191

4.9 MOTORES LINEARES (CILINDROS HIDRÁULICOS)	193
4.9.1 Tipos e classificação dos motores lineares	193
4.9.1.1 Classificação segundo a ação	193
4.9.1.2 Classificação segundo o tipo construtivo	196
4.9.1.3 Classificação segundo a forma de fixação	199
4.9.2 Critério básico de seleção da haste de um cilindro hidráulico	201
4.9.3 Aspectos do movimento em motores lineares	203
4.9.3.1 Determinação do rendimento	204
4.9.3.2 Dinâmica do cilindro	205
4.9.4 Amortecimento de fim de curso	209
4.9.5 Frequência hidráulica de cilindros	213
4.9.6 Osciladores hidráulicos	219
EXERCÍCIOS SELECIONADOS	221
Capítulo 5 – LIMITAÇÃO E CONTROLE DE ENERGIA.....	225
5.1 INTRODUÇÃO	225
5.2 CONTROLE DE PRESSÃO	231
5.2.1 Válvulas limitadoras de pressão	231
5.2.1.1 Válvulas limitadoras de pressão de simples estágio	233
5.2.1.2 Válvulas limitadoras de pressão de duplo estágio	236
5.2.1.3 Comportamento de regime permanente	238
5.2.1.4 Comportamento dinâmico	241
5.2.2 Válvulas redutoras de pressão	249
5.2.3 Aplicações específicas de válvulas de controle de pressão	252
5.2.3.1 Operações de abertura em baixa pressão e controle remoto de válvula de alívio de dois estágios	253
5.2.3.2 Operação de descarregamento de bomba em sistema de bombas em paralelo (dual)	256
5.2.3.3 Operações sequencial e de contrabalanceamento (ou de contrapressão) .	258
5.3 CONTROLE DE VAZÃO	261
5.3.1 Válvula de controle de vazão de duas vias	262
5.3.1.1 Comportamento de regime permanente	263
5.3.1.2 Comportamento dinâmico	267
5.3.2 Válvula de controle de vazão de três vias	269
5.3.3 Influência da temperatura no controle de vazão.....	271
5.3.4 Válvula divisora de vazão	272
5.3.5 Métodos clássicos de controle de vazão em sistemas	274
5.3.5.1 Controle de vazão na entrada (<i>meter-in</i>)	274

5.3.5.2 Controle de vazão na saída (<i>meter-out</i>)	276
5.3.5.3 Controle de vazão por sangria (<i>bleed-off</i>)	277
5.4 CONTROLE DIRECIONAL	279
5.4.1 Válvula de retenção	279
5.4.1.1 Válvula de retenção simples	280
5.4.1.2 Válvula de retenção pilotada	281
5.4.1.3 Válvula de retenção pilotada com descompressão	286
5.4.1.4 Outros tipos de válvula de retenção pilotada	291
5.4.2 Válvulas direcionais de assento	295
5.4.3 Válvulas direcionais de carretel deslizante	298
5.4.3.1 Válvulas direcionais de duas posições	299
5.4.3.2 A transição e o comportamento sistêmico	301
5.4.3.3 Válvulas direcionais de três posições	305
5.4.3.4 Vazões, pressões e tipos de acionamento em válvulas direcionais	308
5.4.3.5 Válvulas direcionais pilotadas	310
5.4.3.6 Ajuste das condições de comutação	314
5.5 VÁLVULAS-CARTUCHO	315
5.5.1 Configurações	315
5.5.2 Montagem	319
5.5.3 Aplicações	320
5.6 CONTROLE PROPORCIONAL E SERVOCONTROLE	323
5.6.1 Princípios operacionais e configurações das válvulas de controle	324
5.6.2 Conversores de sinal eletromecânicos	329
5.6.3 Servoválvulas e válvulas proporcionais eletro-hidráulicas	330
5.6.3.1 Servoválvulas	331
5.6.3.2 Válvulas proporcionais	333
Capítulo 6 – AJUSTE E CONTROLE DE BOMBAS E MOTORES HIDROSTÁTICOS	341
6.1 AJUSTE DE MÁQUINAS HIDROSTÁTICAS	341
6.1.1 Ajuste manual	341
6.1.2 Ajuste com motor elétrico	342
6.1.3 Ajuste hidráulico simples	342
6.1.4 Ajuste seguidor	342
6.2 TIPOS DE CONTROLE	345
6.2.1 Controle de potência	344
6.2.2 Controle de pressão	349

6.2.3 Controle da unidade de conversão secundária	352
Capítulo 7 – ACUMULADORES DE ENERGIA	357
7.1 TIPOS DE ACUMULADORES	357
7.1.1 Acumulador de peso morto	358
7.1.2 Acumulador de mola	358
7.1.3 Acumulador a gás	359
7.2 APLICAÇÕES DE ACUMULADORES	363
7.2.1 Fonte auxiliar de energia	363
7.2.2 Compensador de vazamentos	365
7.2.3 Fonte de energia de emergência	367
7.2.4 Amortecedor de pulsação e choque hidráulico	368
7.3 SELEÇÃO DE ACUMULADORES	372
REFERÊNCIAS	379
APÊNDICE A	381
A.1 INTRODUÇÃO	381
A.2 PERDA DE CARGA EM CONEXÕES	384
APÊNDICE B	389
B.1 INTRODUÇÃO	389
B.2 REGRAS GERAIS	390
B.2.1 Símbolos básicos	391
B.2.2 Simbologia geral	393
B.2.3 Exemplos de aplicação	394