

# ÍNDICE

## CAPÍTULO 1

### PERSPECTIVA DA TRIBOLOGIA

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. IMPACTO ECONÓMICO DA TRIBOLOGIA .....	1
3. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A TRIBOLOGIA.....	2
4. BIBLIOGRAFIA.....	4

## CAPÍTULO 2

### O ESTADO GEOMÉTRICO DAS SUPERFÍCIES TÉCNICAS

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. DEFINIÇÃO DOS ESTADOS DE SUPERFÍCIE .....	5
2.1 PRINCIPAIS DEFEITOS SUPERFICIAIS.....	5
2.2 PRINCIPAIS CRITÉRIOS DE ESTADOS DE SUPERFÍCIE.....	7
3. MEIOS DE MEDIDA DOS DEFEITOS GEOMÉTRICOS DAS SUPERFÍCIES.....	10
4. QUALIDADE DAS SUPERFÍCIES.....	11
5. BIBLIOGRAFIA.....	12

## CAPÍTULO 3

### NOÇÕES BÁSICAS SOBRE O ATRITO E O DESGASTE DOS MATERIAIS

1. ATRITO.....	13
2. DESGASTE.....	15

3. MECANISMOS DE DESGASTE .....	16
4. DESGASTE POR ABRASÃO.....	17
5. DESGASTE POR ADESÃO.....	18
6. DESGASTE POR EROSÃO .....	21
7. DESGASTE POR FADIGA .....	22
8. "FRETTING" OU CORROSÃO DE CONTACTO.....	22
9. DESGASTE CORROSIVO.....	23
10. CONCLUSÕES.....	23
11. BIBLIOGRAFIA .....	24

## **CAPÍTULO 4**

### **LUBRIFICAÇÃO**

1. INTRODUÇÃO .....	25
2. EQUAÇÕES GERAIS DOS FILMES DELGADOS NEWTONIANOS.....	26
2.1 LEIS DE BASE DA MECÂNICA DOS MEIOS CONTÍNUOS .....	26
2.2 EQUAÇÃO GENERALIZADA DA MECÂNICA DOS FILMES DELGADOS VISCOSOS.....	27
3. FORMAS PARTICULARS DA EQUAÇÃO DA MECÂNICA DOS FILMES DELGADOS VISCOSOS GENERALIZADA.....	32
3.1 EQUAÇÃO DOS FILMES DELGADOS VISCOSOS.....	32
3.2 EQUAÇÃO DE REYNOLDS.....	34
4. ESTUDO DE CASOS ELEMENTARES DE FORÇA DE SUSTENTAÇÃO ....	36
4.1 CASO DE DUAS SUPERFÍCIES PARALELAS; FORÇA AXIAL HIDROSTÁTICA .....	37
4.2 DUAS SUPERFÍCIES PARALELAS: EFEITO DE ESTIRAMENTO .....	38
5. BIBLIOGRAFIA .....	39
ANEXO. Derivação da eq. de Reynolds a partir das eq. de equilíbrio e do princípio da conservação da massa.....	41

## CAPÍTULO 5

### LUBRIFICANTES E SUAS PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS

1. INTRODUÇÃO.....	49
2. TIPOS DE ÓLEOS MINERAIS.....	50
3. VISCOSIDADE DOS LUBRIFICANTES .....	51
3.1 INTRODUÇÃO.....	51
3.2 DEFINIÇÃO DE VISCOSIDADE .....	52
3.3 UNIDADES DE VISCOSIDADE.....	53
4. VISCOSÍMETRIA.....	55
4.1 VISCOSÍMETROS ABSOLUTOS.....	55
4.1.1 Viscosímetros de capilar .....	55
4.1.2 Viscosímetros de Couette .....	56
4.1.3 Viscosímetros de disco ou de cone.....	57
4.1.4 Viscosímetros de queda de corpo.....	57
4.1.5 Viscosímetros absolutos calibrados.....	58
4.2 VISCOSÍMETROS EMPÍRICOS.....	58
5. VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE .....	60
5.1 VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE COM A TEMPERATURA.....	60
5.1.1 Índice de viscosidade .....	61
5.2 VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE COM A PRESSÃO .....	63
5.3 VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE COM A VELOCIDADE DE DEFORMAÇÃO DO FLUÍDO .....	65
5.4 VISCOELASTICIDADE DOS LUBRIFICANTES.....	66
6. VISCOSIDADE DOS GASES .....	67
7. ESPECIFICAÇÕES DE VISCOSIDADE DE LUBRIFICANTES .....	67
7.1 ESPECIFICAÇÕES SAE E ISO.....	67
7.2 OS ÓLEOS "MULTIGRADE" .....	70
7.3 CLASSIFICAÇÃO DE SERVIÇO A.P.I (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE) .....	70
8. OUTRAS CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES.....	70
8.1 DENSIDADE E PESO ESPECÍFICO .....	70

8.2 CALOR ESPECÍFICO .....	71
8.3 CONDUTIVIDADE TÉRMICA .....	71
8.4 DIFUSÃO TÉRMICA.....	72
8.5 TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS DOS LUBRIFICANTES .....	72
8.5.1 <i>Ponto de Inflamação</i> .....	72
8.5.2 <i>Ponto de Combustão</i> .....	72
8.5.3 <i>Ponto de Escorrimento ou Congelação</i> .....	73
9. ADITIVOS.....	73
10. MASSAS LUBRIFICANTES.....	82
10.1 DEFINIÇÃO E COMPOSIÇÃO.....	82
10.2 CARACTERÍSTICAS DAS MASSAS E CLASSIFICAÇÃO .....	82
10.2.1 <i>Consistência</i> .....	83
10.2.2 <i>Viscosidade Aparente</i> .....	84
10.2.3 <i>Ponto de gota</i> .....	84
10.2.4 <i>Outras Características</i> .....	85
11. EMULSÕES E LUBRIFICANTES AQUOSOS.....	85
12. BIBLIOGRAFIA .....	86
ANEXO. Viscosidade de óleos lubrificantes .....	87

## **CAPÍTULO 6**

### **LUBRIFICAÇÃO HIDRODINÂMICA**

1. INTRODUÇÃO TEÓRICA, EQUAÇÃO DE REYNOLDS.....	87
2. DUAS SUPERFÍCIES NÃO PARALELAS.....	88
3. CUNHA CONVERGENTE/DIVERGENTE. DIVERGENTE COM FACES ARTICULADAS.....	95
4. INFLUÊNCIA DA FORMA DAS SUPERFÍCIES.....	97
4.1 CUNHA FIXA .....	97
4.2 CUNHA ARTICULADA .....	98
4.3 CUNHA DE LARGURA FINITA .....	99
5. CONFIGURAÇÕES MÚLTIPHAS: CHUMACEIRAS AXIAIS .....	101

5.1 MÉTODO DE CÁLCULO.....	101
5.2 REALIZAÇÃO DAS CHUMACEIRAS .....	101
6. CHUMACEIRAS RADIAIS EM REGIME LAMINAR.....	102
6.1 INTRODUÇÃO.....	102
6.2 CHUMACEIRAS RADIAIS EM REGIME LAMINAR .....	103
6.2.1 <i>Equação de Reynolds para uma chumaceira lisa.....</i>	103
6.2 ESPESSURA DO FILME DE ÓLEO.....	104
6.3 CONDIÇÕES NAS FRONTEIRAS DO DOMÍNIO.....	107
6.4 RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DE REYNOLDS .....	108
7. CHUMACEIRA RADIAL INFINITAMENTE LONGA .....	109
8. CHUMACEIRA RADIAL INFINITAMENTE CURTA.....	112
9. CHUMACEIRA RADIAL DE LARGURA FINITA .....	114
10. MODO DE ALIMENTAÇÃO DAS CHUMACEIRAS RADIAIS .....	121
10.1 POSIÇÃO E FORMA DAS RANHURAS DE ALIMENTAÇÃO .....	122
10.2 INFLUÊNCIA DA PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO .....	124
10.3 EFEITOS TÉRMICOS NAS CHUMACEIRAS RADIAIS .....	125
11. INFLUÊNCIA DO DESALINHAMENTO .....	127
12. BIBLIOGRAFIA.....	133

## **CAPÍTULO 7**

### **LUBRIFICAÇÃO HIDROSTÁTICA**

1. INTRODUÇÃO TEÓRICA.....	135
1.1 SISTEMAS A PRESSÃO CONSTANTE .....	136
1.2 SISTEMAS A DÉBITO CONSTANTE.....	136
1.3 VANTAGENS E INCONVENIENTES DAS CHUMACEIRAS HIDROSTÁTICAS.....	137
1.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS GASES E OS LÍQUIDOS COMO LUBRIFICANTES.....	137
1.5 RELAÇÕES FUNDAMENTAIS DA HIDROSTÁTICA .....	138
1.5.1 <i>Equação de Reynolds .....</i>	138
1.5.2 <i>Carga admissível .....</i>	139
1.5.3 <i>Débito.....</i>	140
1.5.4 <i>Força ou momento de atrito .....</i>	141

2. ESTUDO DA ESTABILIDADE DUMA CHUMACEIRA .....	142
2.1 CASO DA CHUMACEIRA PLANA SIMPLES, DE COMPRIMENTO INFINITO, REGULADA POR UM CAPILAR.....	143
2.1.1 Característica do capilar.....	144
2.1.2 Estudo da estabilidade da chumaceira .....	146
2.1.3 Caso do capilar .....	149
2.1.4 Comparação entre o capilar, o orifício e o "gicleur" .....	151
3. ESTUDO DUMA CHUMACEIRA DE SIMPLES EFEITO.....	152
3.1 CÁLCULO DA CARGA .....	157
3.2 CÁLCULO DO DÉBITO .....	158
3.3 APLICAÇÃO NUMÉRICA .....	161
3.4 VANTAGENS E INCONVENIENTES .....	161
3.4.1 A árvore roda com velocidade angular $W = Const.$ .....	162
3.5 POTÊNCIA DISSIPADA .....	162
4. INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS CHUMACEIRAS RADIAS HIDROSTÁTICAS.....	172
5. BIBLIOGRAFIA .....	173

## CAPÍTULO 8

### PROJECTO DE CHUMACEIRAS NÃO LUBRIFICADAS E SELEÇÃO DE MATERIAIS

1. INTRODUÇÃO .....	175
2. NOTAÇÃO E UNIDADES.....	176
3. ATRITO E DESGASTE.....	178
4. MATERIAIS PARA CHUMACEIRAS NÃO LUBRIFICADAS.....	179
5. CONSIDERAÇÕES PARA O PROJECTO .....	183
5.1 CONDIÇÕES EM QUE OPERAM AS CHUMACEIRAS NÃO LUBRIFICADAS .....	183
5.2 SELEÇÃO DO MATERIAL A UTILIZAR.....	190
5.3 SELEÇÃO ESQUEMÁTICA DA SELEÇÃO DO TIPO DE MATERIAL A UTILIZAR NAS CHUMACEIRAS NÃO LUBRIFICADAS .....	194
6. BIBLIOGRAFIA .....	197

## **CAPÍTULO 9**

### **SELECÇÃO DE CHUMACEIRAS**

1. INTRODUÇÃO.....	199
2. TIPOS DE CHUMACEIRAS .....	199
3. DESEMPEÑHO DOS VÁRIOS TIPOS DE CHUMACEIRAS.....	201
3.1 CHUMACEIRAS DE ATRITO .....	203
3.2 ROLAMENTOS.....	204
3.3 CHUMACEIRAS DE FILME FLUÍDO (HIDRODINÂMICA E HIDROSTÁTICA) .....	204
3.4 CHUMACEIRAS FLEXÍVEIS .....	205
4. SELECÇÃO DA CHUMACEIRA ADEQUADA.....	206
4.1 APLICAÇÕES COM CARGA UNIDIRECCIONAL E MOVIMENTO CONTINUO.....	206
4.2 APLICAÇÕES COM MOVIMENTO OSCILATÓRIO.....	209
4.3 APLICAÇÕES COM CARGA MULTIDIRECCIONAL E MOVIMENTO CONTÍNUO .....	211
5. BIBLIOGRAFIA.....	213

## **CAPÍTULO 10**

### **BREVE INTRODUÇÃO À LUBRIFICAÇÃO ELASTO-HIDRODINÂMICA**

1. INTRODUÇÃO.....	215
2. TENSÕES DE CONTACTO .....	217
2.1 CASO GERAL DA DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO NUM CONTACTO .....	218
2.2 CASOS PARTICULARES.....	220
2.3 GRADIENTES DE TENSÃO AO LONGO DA LINHA DE CARGA.....	221
3. ESPESSURA DE FILME DE ÓLEO NOS CONTACTOS ELASTO-HIDRODINÂMICOS (EHD).....	224
3.1 DOIS CILINDROS EM CONTACTO.....	224
3.2 CONTACTO PONTUAIS.....	225
3.3 HIPÓTESES CONSIDERADAS.....	226
3.4 SELECÇÃO DE LUBRIFICANTES PARA TRANSMISSÕES MECÂNICAS (MÉTODO AGMA).....	227
4. BIBLIOGRAFIA.....	229