

DADOS DE PROPRIEDADES DE FLUIDOS

A.1 DENSIDADE RELATIVA

Dados da densidade relativa para diversos líquidos e sólidos comuns estão apresentados nas Figs. A.1a e A.1b, e nas Tabelas A.1 e A.2. Para líquidos, a densidade relativa é uma função da temperatura. (Massas específicas da água e do ar são dados como funções da temperatura nas Tabelas A.7 a A.10.) Para a maior parte dos líquidos a densidade relativa decresce com o aumento da temperatura. A água tem um comportamento singular: ela apresenta uma densidade máxima de 1000 kg/m³ (1,94 slug/pé³)

a 4°C (39°F). A densidade máxima da água é usada como valor de referência para calcular a densidade relativa. Portanto,

$$SG \equiv \frac{\rho}{\rho_{H_2O} \text{ (a } 4^\circ\text{C)}}$$

Conseqüentemente, a densidade relativa máxima da água é exatamente a unidade.

Tabela A.1 Densidades Relativas de Materiais Seleccionados de Engenharia

(a) Líquidos Comuns de Manômetro a 20°C (Dados de [1, 2, 3].)

| Líquido | Densidade Relativa |
|--------------------------------|--------------------|
| Óleo azul E. V. Hill | 0,797 |
| Óleo vermelho Meriam | 0,827 |
| Benzeno | 0,879 |
| Dibutil ftalato | 1,04 |
| Monocloronaftaleno | 1,20 |
| Tetracloroeto de carbono | 1,595 |
| Bromoetilbenzeno (Meriam azul) | 1,75 |
| Tetrabromoetano | 2,95 |
| Mercúrio | 13,55 |

(b) Materiais Comuns (Dados de [4].)

| Material | Densidade Relativa (—) |
|--------------------|------------------------|
| Aço | 7,83 |
| Alumínio | 2,64 |
| Carvalho | 0,77 |
| Cobre | 8,91 |
| Concreto (curado) | 2,4* |
| Concreto (líquido) | 2,5* |
| Chumbo | 11,4 |
| Ferro fundido | 7,08 |
| Gelo (0°C) | 0,917 |
| Isopor (1 pcf**) | 0,0160 |
| Isopor (3 pcf) | 0,0481 |
| Latão | 8,55 |
| Madeira balsa | 0,14 |
| Pinheiro branco | 0,43 |
| Urânio (exaurido) | 18,7 |

*Dependendo do agregado
**Libra-massa por pé cúbico

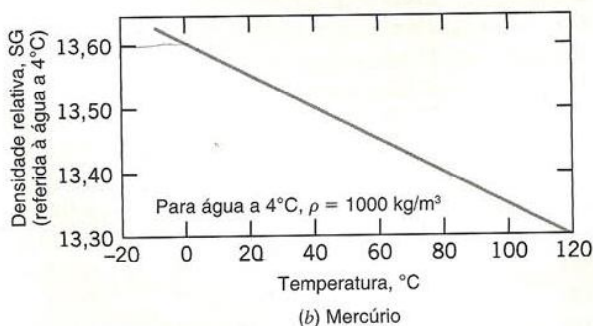
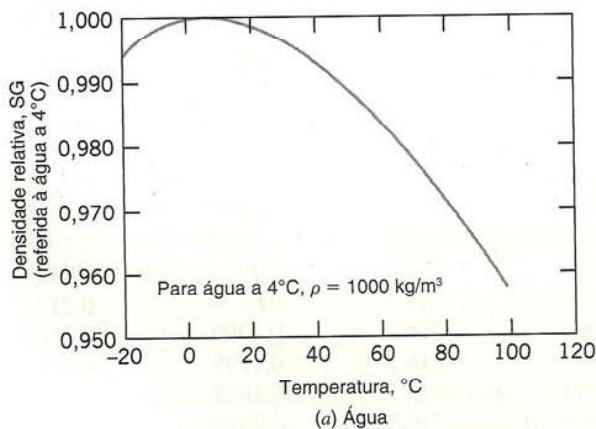


Fig. A.1 Densidade relativa da água e do mercúrio como funções da temperatura. (Dados de [1].)
(A densidade relativa do mercúrio varia linearmente com a temperatura. A variação é dada por $SG = 13,60 - 0,00240T$, quando T é dada em graus Celsius.)

Tabela A.2 Propriedades Físicas de Líquidos Comuns a 20°C (Dados de [1, 5, 6].)

| Líquido | Módulo de Compressibilidade Isoentrópica ^a (GN/m ²) | Densidade Relativa (—) |
|--------------------------|--|------------------------|
| Água | 2,24 | 0,998 |
| Água do mar ^b | 2,42 | 1,025 |
| Benzeno | 1,48 | 0,879 |
| Etanol | — | 0,789 |
| Gasolina | — | 0,72 |
| Glicerina | 4,59 | 1,26 |
| Heptano | 0,886 | 0,684 |
| Mercúrio | 28,5 | 13,55 |
| Metanol | — | 0,796 |
| Óleo Castor | 2,11 | 0,969 |
| Óleo cru | — | 0,82-0,92 |
| Octano | 0,963 | 0,702 |
| Óleo lubrificante | 1,44 | 0,88 |
| Óleo SAE 10W | — | 0,92 |
| Querosene | 1,43 | 0,82 |
| Tetracloroeto de carbono | 1,36 | 1,595 |

^aCalculado a partir da velocidade do som; 1 GN/m² = 10⁹ N/m² (1 N/m² = 1,45 × 10⁻⁴ lbf/pol.²).

^bA viscosidade dinâmica da água do mar a 20°C é $\mu = 1,08 \times 10^{-3}$ N·s/m². (Portanto, a viscosidade cinemática da água do mar é em torno de 5% maior que a viscosidade da água potável.)

As densidades relativas para sólidos são relativamente insensíveis à temperatura; os valores dados na Tabela A.1 foram medidos a 20°C.

A densidade relativa da água do mar depende tanto da temperatura quanto do grau de salinidade. Um valor representativo para a água do oceano é SG = 1,025, como dado na Tabela A.2.

A.2 TENSÃO SUPERFICIAL

Os valores de tensão superficial, σ , para a maioria dos compostos orgânicos, são notavelmente similares à temperatura ambiente; a faixa típica é de 25 a 40 mN/m. O da água é mais alto, cerca de 73 mN/m a 20°C. Os metais líquidos têm valores na faixa entre 300 e 600 mN/m; o mercúrio líquido tem um valor de cerca de 480 mN/m a 20°C. A tensão superficial diminui com a temperatura; o decréscimo é aproximadamente linear com a temperatura absoluta. A tensão superficial à temperatura crítica é zero.

Os valores de σ são usualmente apresentados para superfícies em contato com o vapor puro do líquido em estudo ou com o ar. A baixas pressões, os dois valores são aproximadamente iguais (ver Tabela A.4).

A.3 A NATUREZA FÍSICA DA VISCOSIDADE

A viscosidade é uma medida do atrito interno do fluido, ou seja, da resistência à deformação. O mecanismo da viscosidade gasosa é razoavelmente bem compreendido, mas a teoria para os líquidos não está bem desenvolvida. Podemos obter algumas informações sobre a natureza física do escoamento viscoso discutindo brevemente esses mecanismos. A viscosidade de um flui-

do newtoniano é fixada pelo estado do material. Assim, $\mu = \mu(T, p)$. A temperatura é a variável mais importante, por isso vamos considerá-la primeiro. Existem excelentes equações empíricas para a viscosidade como uma função da temperatura.

A.3.1 Efeito da Temperatura sobre a Viscosidade

a. Gases

Todas as moléculas gasosas estão em contínuo movimento aleatório. Quando há um movimento da massa de gás em decorrência

Tabela A.3 Propriedades da Atmosfera Padrão dos Estados Unidos (Dados de [7].)

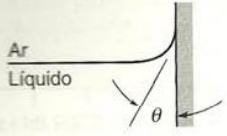
| Altitude Geométrica (m) | Temperatura (K) | p/p_{NM} (—) | ρ/ρ_{NM} (—) |
|-------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| -500 | 291,4 | 1,061 | 1,049 |
| 0 | 288,2 | 1,000 ^a | 1,000 ^b |
| 500 | 284,9 | 0,9421 | 0,9529 |
| 1.000 | 281,7 | 0,8870 | 0,9075 |
| 1.500 | 278,4 | 0,8345 | 0,8638 |
| 2.000 | 275,2 | 0,7846 | 0,8217 |
| 2.500 | 271,9 | 0,7372 | 0,7812 |
| 3.000 | 268,7 | 0,6920 | 0,7423 |
| 3.500 | 265,4 | 0,6492 | 0,7048 |
| 4.000 | 262,2 | 0,6085 | 0,6689 |
| 4.500 | 258,9 | 0,5700 | 0,6343 |
| 5.000 | 255,7 | 0,5334 | 0,6012 |
| 6.000 | 249,2 | 0,4660 | 0,5389 |
| 7.000 | 242,7 | 0,4057 | 0,4817 |
| 8.000 | 236,2 | 0,3519 | 0,4292 |
| 9.000 | 229,7 | 0,3040 | 0,3813 |
| 10.000 | 223,3 | 0,2615 | 0,3376 |
| 11.000 | 216,8 | 0,2240 | 0,2978 |
| 12.000 | 216,7 | 0,1915 | 0,2546 |
| 13.000 | 216,7 | 0,1636 | 0,2176 |
| 14.000 | 216,7 | 0,1399 | 0,1860 |
| 15.000 | 216,7 | 0,1195 | 0,1590 |
| 16.000 | 216,7 | 0,1022 | 0,1359 |
| 17.000 | 216,7 | 0,08734 | 0,1162 |
| 18.000 | 216,7 | 0,07466 | 0,09930 |
| 19.000 | 216,7 | 0,06383 | 0,08489 |
| 20.000 | 216,7 | 0,05457 | 0,07258 |
| 22.000 | 218,6 | 0,03995 | 0,05266 |
| 24.000 | 220,6 | 0,02933 | 0,03832 |
| 26.000 | 222,5 | 0,02160 | 0,02797 |
| 28.000 | 224,5 | 0,01595 | 0,02047 |
| 30.000 | 226,5 | 0,01181 | 0,01503 |
| 40.000 | 250,4 | 0,002834 | 0,003262 |
| 50.000 | 270,7 | 0,0007874 | 0,0008383 |
| 60.000 | 255,8 | 0,0002217 | 0,0002497 |
| 70.000 | 219,7 | 0,00005448 | 0,00007146 |
| 80.000 | 180,7 | 0,00001023 | 0,00001632 |
| 90.000 | 180,7 | 0,000001622 | 0,000002588 |

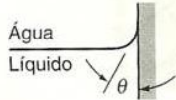
NM = Nível do mar.

^a $p_{NM} = 1,01325 \times 10^5$ N/m² (abs.) (= 14,696 psia).

^b $\rho_{NM} = 1,2250$ kg/m³ (= 0,002377 slug/ft³).

Tabela A.4 Tensão Superficial de Líquidos Comuns a 20°C
(Dados de [1, 5, 8, 9].)

| Líquido | Tensão Superficial, σ (mN/m) ^a | Ângulo de Contato, θ (graus) |
|---|---|--|
| (a) Em contato com o ar | | |
|  | | |
| Água | 72,8 | ~0 |
| Benzeno | 28,9 | |
| Etanol | 22,3 | |
| Glicerina | 63,0 | |
| Hexano | 18,4 | |
| Mercúrio | 484 | 140 |
| Metanol | 22,6 | |
| Octano | 21,8 | |
| Óleo lubrificante | 25-35 | |
| Querosene | 26,8 | |
| Tetracloroeto de carbono | 27,0 | |

| Líquido | Tensão Superficial, σ (mN/m) ^a | Ângulo de Contato, θ (graus) |
|---|---|--|
| (b) Em contato com a água | | |
|  | | |
| Benzeno | 35,0 | |
| Hexano | 51,1 | |
| Mercúrio | 375 | 140 |
| Metanol | 22,7 | |
| Octano | 50,8 | |
| Tetracloroeto de carbono | 45,0 | |

^a1 mN/m = 10⁻³ N/m.

cia do escoamento, o movimento de massa é sobreposto aos movimentos aleatórios. Ele é então distribuído por todo o fluido pelas colisões moleculares. Análises fundamentadas na teoria cinética predizem

$$\mu \propto \sqrt{T}$$

A previsão da teoria cinética concorda muito bem com as tendências experimentais, mas a constante de proporcionalidade e um ou mais fatores de correção devem ser determinados; isto limita a aplicação prática dessa equação simples.

Se dois ou mais pontos experimentais estão disponíveis, os dados poderão ser correlacionados pela equação empírica de Sutherland [7]

$$\mu = \frac{bT^{1/2}}{1 + S/T} \tag{A.1}$$

As constantes b e S podem ser determinadas com mais facilidade escrevendo-se

$$\mu = \frac{bT^{3/2}}{S + T}$$

ou

$$\frac{T^{3/2}}{\mu} = \left(\frac{1}{b}\right)T + \frac{S}{b}$$

(Compare isso com $y = mx + c$.) De um gráfico de $T^{3/2}/\mu$ versus T , pode-se obter a inclinação, $1/b$, e a ordenada para abscissa nula, S/b . Para o ar,

$$b = 1,458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{1/2}}$$

$$S = 110,4 \text{ K}$$

Essas constantes foram usadas com a Eq. A.1 para calcular as viscosidades para a atmosfera padrão em [7], os valores da viscosidade do ar para várias temperaturas mostrados na Tabela A.10 e, usando fatores de conversão apropriados, os valores mostrados na Tabela A.9.

b. Líquidos

As viscosidades para líquidos não podem ser bem estimadas teoricamente. O fenômeno da transferência de quantidade de movimento por colisões moleculares é ofuscado nos líquidos pelos efeitos de campos de força interagindo entre grupos de moléculas líquidas muito próximas.

As viscosidades dos líquidos são fortemente afetadas pela temperatura. Esta dependência da temperatura absoluta é bem representada pela equação empírica

$$\mu = Ae^{B/(T-C)} \tag{A.2}$$

ou pela forma equivalente

$$\mu = A10^{B/(T-C)} \tag{A.3}$$

onde T é a temperatura absoluta.

A Eq. A.3 requer pelo menos três pontos para ajustar A , B e C . Em teoria, é possível determinar as constantes a partir de medidas da viscosidade em apenas três temperaturas. Uma prática melhor é usar mais dados e obter as constantes por meio de um ajuste estatístico dos dados ou regressão.

Após o desenvolvimento da regressão, adote sempre o procedimento de comparar a linha ou a curva resultante com os dados de medições. A melhor metodologia é fazer uma inspeção crítica de um gráfico da curva obtida comparada com os dados disponíveis. Em geral, os resultados da regressão serão satisfatórios somente quando a qualidade dos dados disponíveis e aqueles da correlação empírica forem sabidamente excelentes.

Dados para a viscosidade dinâmica da água são bem ajustados usando as constantes $A = 2,414 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$, $B = 247,8 \text{ K}$ e $C = 140 \text{ K}$. A referência 10 estabelece que, usando essas constantes na Eq. A.3, pode-se prever a viscosidade da água com um erro de $\pm 2,5$ por cento numa faixa de temperaturas de 0 a 370°C. A Eq. A.3 foi usada para calcular os valores da viscosidade da água para várias temperaturas mostrados na Tabela A.8 e, usando fatores de conversão apropriados, os valores mostrados na Tabela A.7.

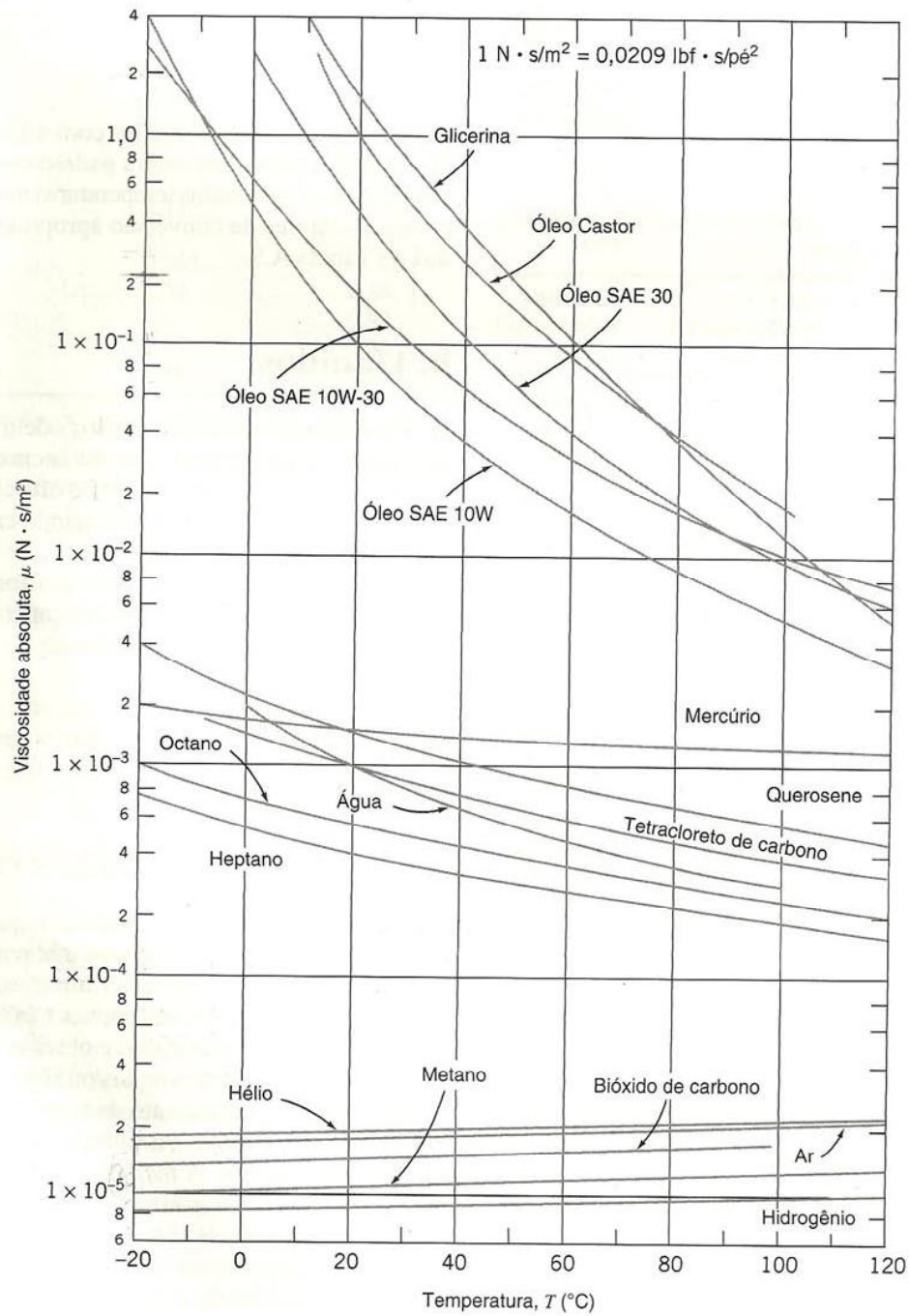


Fig. A.2 Viscosidade dinâmica (absoluta) de fluidos comuns como uma função da temperatura. (Dados de [1, 6 e 10].)

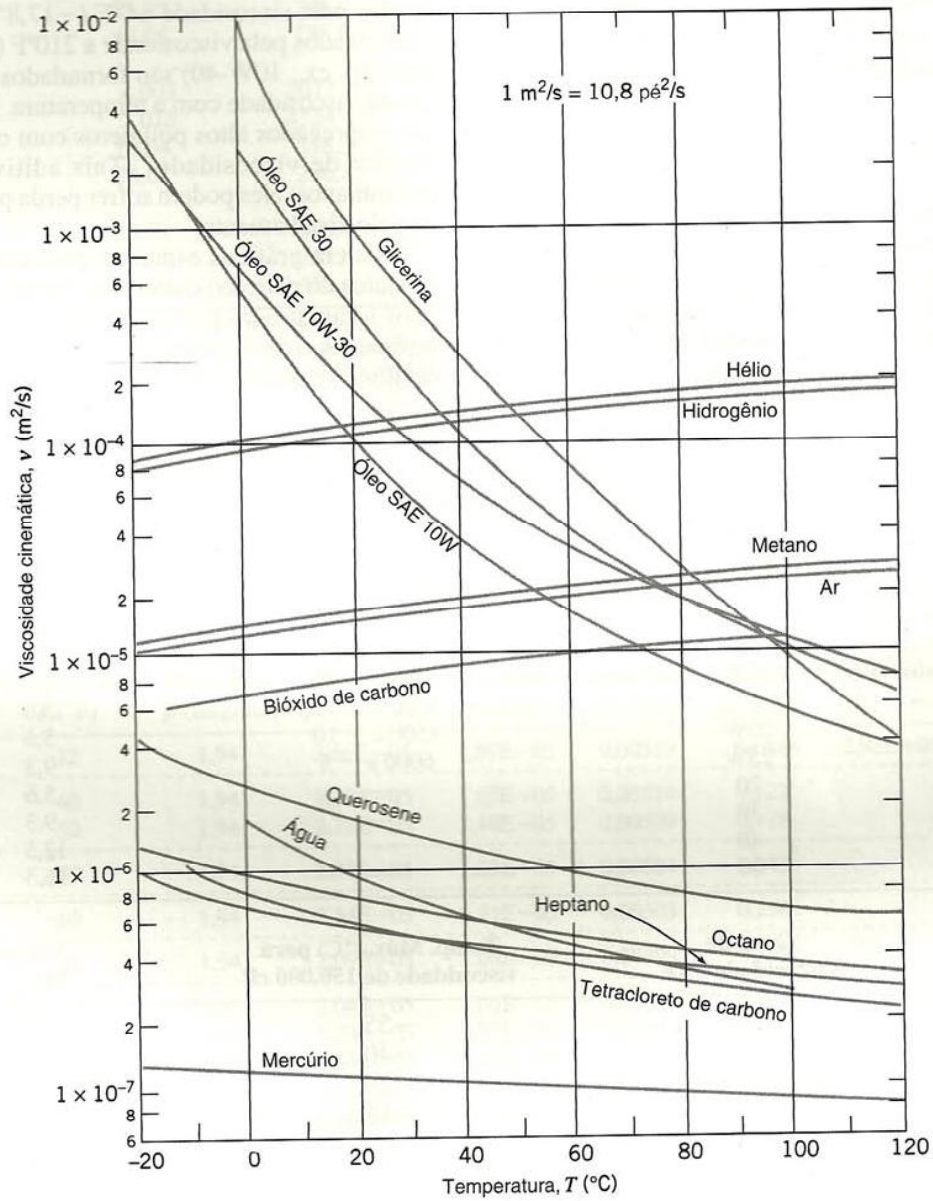


Fig. A.3 Viscosidade cinemática de fluidos comuns (à pressão atmosférica) como uma função da temperatura. (Dados de [1, 6 e 10].)

Note que a viscosidade de um líquido decresce com a temperatura, enquanto que a de um gás aumenta com a temperatura.

A.3.2 Efeito da Pressão sobre a Viscosidade

a. Gases

A viscosidade dos gases é essencialmente independente da pressão entre uns poucos centésimos de uma atmosfera e umas poucas atmosferas. Entretanto, a viscosidade a pressões elevadas aumenta com a pressão (ou com a massa específica).

b. Líquidos

As viscosidades da maioria dos líquidos não são afetadas por pressões moderadas, porém grandes aumentos foram verificados a pressões muito altas. Por exemplo, a viscosidade da água a 10.000 atm é o dobro daquela a 1 atm. Compostos mais complexos apresentam um aumento de viscosidade de diversas ordens de grandeza para a mesma faixa de pressão.

Mais informações podem ser encontradas em [11].

A.4 ÓLEOS LUBRIFICANTES

Os óleos lubrificantes de motores e de transmissões são classificados pela viscosidade de acordo com normas estabelecidas pela Society of Automotive Engineers [12]. As faixas de viscosidades permitidas para diversos graus são dadas na Tabela A.5.

Os números de viscosidade com W (p. ex., 20W) são classificados pela viscosidade a 0°F (-17,8°C). Aqueles sem W são classificados pela viscosidade a 210°F (100°C). Os óleos multi-graus (p. ex., 10W-40) são formulados para minimizar a variação da viscosidade com a temperatura. Na mistura desses óleos são empregados altos polímeros com o objetivo de melhorar o "índice de viscosidade". Tais aditivos são altamente não newtonianos; eles podem sofrer perda permanente de viscosidade pelo cisalhamento.

Existem gráficos especiais para estimar a viscosidade dos produtos do petróleo como uma função da temperatura. Os gráficos foram usados para desenvolver os dados para os óleos lubrificantes típicos plotados nas Figs. A.2 e A.3. Para maiores detalhes, consulte [15].

Tabela A.5 Faixas de Viscosidades Permissíveis para Lubrificantes (Dados de [12-14].)

| Óleo de Motor | Grau de Viscosidade SAE | Viscosidade Máx. (cP) ^a à Temp. (°C) | Viscosidade (cSt) ^b a 100°C | |
|---------------|-------------------------|---|--|-------|
| | | | Mín. | Máx. |
| | 0W | 3250 a - 30 | 3,8 | — |
| | 5W | 3500 a - 25 | 3,8 | — |
| | 10W | 3500 a - 20 | 4,1 | — |
| | 15W | 3500 a - 15 | 5,6 | — |
| | 20W | 4500 a - 10 | 5,6 | — |
| | 25W | 6000 a - 5 | 9,3 | — |
| | 20 | — | 5,6 | <9,3 |
| | 30 | — | 9,3 | <12,5 |
| | 40 | — | 12,5 | <16,3 |
| | 50 | — | 16,3 | <21,9 |

| Lubrificante de Transmissão de Eixo e Manual | Grau de Viscosidade SAE | Temp. Máx. (°C) para viscosidade de 150.000 cP | Viscosidade (cSt) a 100°C | |
|--|-------------------------|--|---------------------------|-------|
| | | | Mín. | Máx. |
| | 70W | -55 | 4,1 | — |
| | 75W | -40 | 4,1 | — |
| | 80W | -26 | 7,0 | — |
| | 85W | -12 | 11,0 | — |
| | 90 | — | 13,5 | <24,0 |
| | 140 | — | 24,0 | <41,0 |
| | 250 | — | 41,0 | — |

| Fluido de Transmissão Automática (Típico) | Viscosidade Máxima (cP) | Temperatura (°C) | Viscosidade (cSt) a 100°C | |
|---|-------------------------|------------------|---------------------------|------|
| | | | Mín. | Máx. |
| | 50 000 | -40 | 6,5 | 8,5 |
| | 4 000 | -23,3 | 6,5 | 8,5 |
| | 1 700 | -18 | 6,5 | 8,5 |

^a1 centipoise = 1 cP = 1 mPa · s = 10⁻³ Pa · s (= 2,09 × 10⁻⁵ lbf · s/pé²).

^b1 centistoke = 10⁻⁶ m²/s (= 1,08 × 10⁻⁵ pé²/s).

Tabela A.6 Propriedades Termodinâmicas de Gases Comuns na Condição Padrão ou "Standard"^a (Dados de [7,16,17].)

| Gás | Símbolo Químico | Massa Molecular, M_m | $\left(\frac{R^b}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$ | $\left(\frac{c_p}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$ | $\left(\frac{c_v}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$ | $k = \frac{c_p}{c_v}$ (—) | $\left(\frac{R^b}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{R}}\right)$ | $\left(\frac{c_p}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{R}}\right)$ | $\left(\frac{c_v}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{R}}\right)$ |
|---------------------|------------------|------------------------|---|---|---|------------------------------|--|--|--|
| Ar | — | 28,98 | 286,9 | 1004 | 717,4 | 1,40 | 53,33 | 0,2399 | 0,1713 |
| Bióxido de carbono | CO ₂ | 44,01 | 188,9 | 840,4 | 651,4 | 1,29 | 35,11 | 0,2007 | 0,1556 |
| Hélio | He | 4,003 | 2077 | 5225 | 3147 | 1,66 | 386,1 | 1,248 | 0,7517 |
| Hidrogênio | H ₂ | 2,016 | 4124 | 14.180 | 10.060 | 1,41 | 766,5 | 3,388 | 2,402 |
| Metano | CH ₄ | 16,04 | 518,3 | 2190 | 1672 | 1,31 | 96,32 | 0,5231 | 0,3993 |
| Monóxido de carbono | CO | 28,01 | 296,8 | 1039 | 742,1 | 1,40 | 55,17 | 0,2481 | 0,1772 |
| Nitrogênio | N ₂ | 28,01 | 296,8 | 1039 | 742,0 | 1,40 | 55,16 | 0,2481 | 0,1772 |
| Oxigênio | O ₂ | 32,00 | 259,8 | 909,4 | 649,6 | 1,40 | 48,29 | 0,2172 | 0,1551 |
| Vapor ^c | H ₂ O | 18,02 | 461,4 | ~ 2000 | ~ 1540 | ~ 1,30 | 85,78 | ~ 0,478 | ~ 0,368 |

^aTemperatura e pressão na condição padrão ou "standard", $T = 15^\circ\text{C} = 59^\circ\text{F}$ e $p = 101,325 \text{ kPa (abs.)} = 14,696 \text{ psia}$.

^b $R = R_u/M_m$; $R_u = 8314,3 \text{ J/(kgmol} \cdot \text{K)} = 1545,3 \text{ pé} \cdot \text{lb/(lbmol} \cdot ^\circ\text{R)}$; $1 \text{ Btu} = 778,2 \text{ pé} \cdot \text{lb}$.

^cO vapor d'água comporta-se como um gás ideal quando superaquecido de $55^\circ\text{C (100}^\circ\text{F)}$ ou mais.

Tabela A.7 Propriedades da Água (Unidades Usuais nos EUA)

| Temperatura T ($^\circ\text{F}$) | Massa Específica ρ (slug/pé ³) | Viscosidade Dinâmica μ (lbf·s/pé ²) | Viscosidade Cinemática ν (pé ² /s) | Tensão Superficial σ (lbf/pé) | Pressão de Vapor p_v (psia) | Módulo de Compressibilidade E_v (psi) |
|---|--|--|--|---|----------------------------------|--|
| 32 | 1,94 | 3,66E-05 | 1,89E-05 | 0,00519 | 0,0886 | 2,92E+05 |
| 40 | 1,94 | 3,19E-05 | 1,65E-05 | 0,00514 | 0,122 | |
| 50 | 1,94 | 2,72E-05 | 1,40E-05 | 0,00509 | 0,178 | |
| 59 | 1,94 | 2,37E-05 | 1,23E-05 | 0,00504 | 0,247 | |
| 60 | 1,94 | 2,34E-05 | 1,21E-05 | 0,00503 | 0,256 | |
| 68 | 1,94 | 2,09E-05 | 1,08E-05 | 0,00499 | 0,339 | |
| 70 | 1,93 | 2,04E-05 | 1,05E-05 | 0,00498 | 0,363 | 3,20E+05 |
| 80 | 1,93 | 1,79E-05 | 9,27E-06 | 0,00492 | 0,507 | |
| 90 | 1,93 | 1,59E-05 | 8,24E-06 | 0,00486 | 0,699 | |
| 100 | 1,93 | 1,42E-05 | 7,38E-06 | 0,00480 | 0,950 | |
| 110 | 1,92 | 1,28E-05 | 6,66E-06 | 0,00474 | 1,28 | |
| 120 | 1,92 | 1,16E-05 | 6,05E-06 | 0,00467 | 1,70 | 3,32E+05 |
| 130 | 1,91 | 1,06E-05 | 5,53E-06 | 0,00461 | 2,23 | |
| 140 | 1,91 | 9,68E-06 | 5,08E-06 | 0,00454 | 2,89 | |
| 150 | 1,90 | 8,91E-06 | 4,69E-06 | 0,00448 | 3,72 | |
| 160 | 1,89 | 8,24E-06 | 4,35E-06 | 0,00441 | 4,75 | |
| 170 | 1,89 | 7,65E-06 | 4,05E-06 | 0,00434 | 6,00 | |
| 180 | 1,88 | 7,14E-06 | 3,79E-06 | 0,00427 | 7,52 | |
| 190 | 1,87 | 6,68E-06 | 3,56E-06 | 0,00420 | 9,34 | |
| 200 | 1,87 | 6,27E-06 | 3,36E-06 | 0,00413 | 11,5 | 3,08E+05 |
| 212 | 1,86 | 5,83E-06 | 3,14E-06 | 0,00404 | 14,7 | |

Tabela A.8 Propriedades da Água (Unidades SI)

| Temperatura T (°C) | Massa Específica ρ (kg/m ³) | Viscosidade Dinâmica μ (N · s/m ²) | Viscosidade Cinemática ν (m ² /s) | Tensão Superficial σ (N/m) | Pressão de Vapor p_v (kPa) | Módulo de Compressibilidade E_v (GPa) |
|-------------------------|--|--|--|---|------------------------------------|---|
| 0 | 1000 | 1,75E-03 | 1,75E-06 | 0,0757 | 0,661 | 2,01 |
| 5 | 1000 | 1,50E-03 | 1,50E-06 | 0,0749 | 0,872 | |
| 10 | 1000 | 1,30E-03 | 1,30E-06 | 0,0742 | 1,23 | |
| 15 | 999 | 1,14E-03 | 1,14E-06 | 0,0735 | 1,71 | |
| 20 | 998 | 1,00E-03 | 1,00E-06 | 0,0727 | 2,34 | 2,21 |
| 25 | 997 | 8,90E-04 | 8,93E-07 | 0,0720 | 3,17 | |
| 30 | 996 | 7,97E-04 | 8,01E-07 | 0,0712 | 4,25 | |
| 35 | 994 | 7,18E-04 | 7,23E-07 | 0,0704 | 5,63 | |
| 40 | 992 | 6,51E-04 | 6,57E-07 | 0,0696 | 7,38 | |
| 45 | 990 | 5,94E-04 | 6,00E-07 | 0,0688 | 9,59 | |
| 50 | 988 | 5,44E-04 | 5,51E-07 | 0,0679 | 12,4 | 2,29 |
| 55 | 986 | 5,01E-04 | 5,08E-07 | 0,0671 | 15,8 | |
| 60 | 983 | 4,63E-04 | 4,71E-07 | 0,0662 | 19,9 | |
| 65 | 980 | 4,30E-04 | 4,38E-07 | 0,0654 | 25,0 | |
| 70 | 978 | 4,00E-04 | 4,10E-07 | 0,0645 | 31,2 | |
| 75 | 975 | 3,74E-04 | 3,84E-07 | 0,0636 | 38,6 | |
| 80 | 972 | 3,51E-04 | 3,61E-07 | 0,0627 | 47,4 | |
| 85 | 969 | 3,30E-04 | 3,41E-07 | 0,0618 | 57,8 | |
| 90 | 965 | 3,11E-04 | 3,23E-07 | 0,0608 | 70,1 | 2,12 |
| 95 | 962 | 2,94E-04 | 3,06E-07 | 0,0599 | 84,6 | |
| 100 | 958 | 2,79E-04 | 2,91E-07 | 0,0589 | 101 | |

Tabela A.9 Propriedades do Ar à Pressão Atmosférica
(Unidades Usuais nos EUA)

| Temperatura T (°F) | Massa Específica ρ (slug/pé ³) | Viscosidade Dinâmica μ (lbf · s/pé ²) | Viscosidade Cinemática ν (pé ² /s) |
|-------------------------|--|---|---|
| 40 | 0,00247 | 3,63E-07 | 1,47E-04 |
| 50 | 0,00242 | 3,69E-07 | 1,52E-04 |
| 59 | 0,00238 | 3,74E-07 | 1,57E-04 |
| 60 | 0,00237 | 3,75E-07 | 1,58E-04 |
| 68 | 0,00234 | 3,79E-07 | 1,62E-04 |
| 70 | 0,00233 | 3,80E-07 | 1,63E-04 |
| 80 | 0,00229 | 3,86E-07 | 1,69E-04 |
| 90 | 0,00225 | 3,91E-07 | 1,74E-04 |
| 100 | 0,00221 | 3,97E-07 | 1,80E-04 |
| 110 | 0,00217 | 4,02E-07 | 1,86E-04 |
| 120 | 0,00213 | 4,07E-07 | 1,91E-04 |
| 130 | 0,00209 | 4,13E-07 | 1,97E-04 |
| 140 | 0,00206 | 4,18E-07 | 2,03E-04 |
| 150 | 0,00202 | 4,23E-07 | 2,09E-04 |
| 160 | 0,00199 | 4,28E-07 | 2,15E-04 |
| 170 | 0,00196 | 4,33E-07 | 2,21E-04 |
| 180 | 0,00193 | 4,38E-07 | 2,27E-04 |
| 190 | 0,00190 | 4,43E-07 | 2,33E-04 |
| 200 | 0,00187 | 4,48E-07 | 2,40E-04 |

Tabela A.10 Propriedades do Ar à Pressão Atmosférica
(Unidades SI)

| Temperatura T (°C) | Massa Específica ρ (kg/m ³) | Viscosidade Dinâmica μ (N · s/m ²) | Viscosidade Cinemática ν (m ² /s) |
|-------------------------|---|--|--|
| 0 | 1,29 | 1,72E-05 | 1,33E-05 |
| 5 | 1,27 | 1,74E-05 | 1,37E-05 |
| 10 | 1,25 | 1,77E-05 | 1,41E-05 |
| 15 | 1,23 | 1,79E-05 | 1,46E-05 |
| 20 | 1,21 | 1,81E-05 | 1,50E-05 |
| 25 | 1,19 | 1,84E-05 | 1,55E-05 |
| 30 | 1,17 | 1,86E-05 | 1,60E-05 |
| 35 | 1,15 | 1,88E-05 | 1,64E-05 |
| 40 | 1,13 | 1,91E-05 | 1,69E-05 |
| 45 | 1,11 | 1,93E-05 | 1,74E-05 |
| 50 | 1,09 | 1,95E-05 | 1,79E-05 |
| 55 | 1,08 | 1,98E-05 | 1,84E-05 |
| 60 | 1,06 | 2,00E-05 | 1,88E-05 |
| 65 | 1,04 | 2,02E-05 | 1,93E-05 |
| 70 | 1,03 | 2,04E-05 | 1,98E-05 |
| 75 | 1,01 | 2,07E-05 | 2,04E-05 |
| 80 | 1,00 | 2,09E-05 | 2,09E-05 |
| 85 | 0,987 | 2,11E-05 | 2,14E-05 |
| 90 | 0,973 | 2,13E-05 | 2,19E-05 |
| 95 | 0,960 | 2,15E-05 | 2,24E-05 |
| 100 | 0,947 | 2,17E-05 | 2,30E-05 |