

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS**



Operações Unitárias I

Introdução a transferência de quantidade de movimento

TRANSPORTE DE FLUIDO

AULA 22

Profa. Dra. Bianca Chierigato Maniglia

biancamaniglia@usp.br

biancamaniglia@iqsc.usp.br

1) Especificar os diâmetros das tubulações de aço de sucção e descarga para as seguintes operações de bombeamento:

- água a vazão de 54 m³/h (utilize o critério das velocidades econômicas)
- óleo residual ($\mu = 12$ cp) a vazão de 36 m³/h (utilize o critério de Vobrandt)

Tabela IV.4. Velocidades econômicas para escoamento de líquidos em tubulações (Remi-Tubulações)

| Fluido | Tipo de escoamento | Velocidade (m/s) |
|--------|---------------------------------|------------------|
| Água | Sucção de bomba | 1,0 a 2,5 |
| Água | Descarga de bomba | 1,5 a 3,0 |
| Água | Alimentação de caldeira | 2,5 a 3,0 |
| Água | Rede de distribuição em cidades | 0,7 a 1,7 |
| Óleo | Sucção de bomba | 1,0 a 2,0 |
| Óleo | Descarga de bomba | 1,5 a 2,5 |

Tabela IV.5. Velocidades recomendadas para escoamento em tubulações (Vilbrandt & Dryden), D_i = diâmetro interno do tubo (m).

| Tipo de fluido | Tipo de escoamento | Velocidade (m/s) |
|--|--------------------|-------------------|
| Líquido com viscosidade $\mu < 10\text{cP}$ (H ₂ O, álcool, etc.) | Entrada da bomba | $0,40 + 1,92 D_i$ |
| | Saída da bomba | $1,22 + 6,0 D_i$ |
| | Tubulações normais | 1,5 a 2,2 |
| Líquidos viscosos $\mu > 10\text{cP}$ (frações de petróleo) | Entrada da bomba | $0,06 + 0,6 D_i$ |
| | Saída da bomba | $0,15 + 1,2 D_i$ |
| | Tubulações normais | $0,30 + 6,0 D_i$ |

TABLE 10-22 Properties of Steel Pipe

| Nominal pipe size, in | Outside diameter, in | Schedule no. | Wall thickness, in | Inside diameter, in | Cross-sectional area | | Circumference, ft, or surface, ft ² /ft of length | | Capacity at 1-ft/s velocity | | Weight of plain-end pipe, lb/ft |
|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--|--------|-----------------------------|------------|---------------------------------|
| | | | | | Metal, in ² | Flow, ft ² | Outside | Inside | U.S. gal/min | lb/h water | |
| 1½ | 1.900 | 5S | .065 | 1.770 | 0.375 | .01709 | .497 | .463 | 7.67 | 3835 | 1.28 |
| | | 10S | .109 | 1.682 | 0.614 | .01543 | .497 | .440 | 6.94 | 3465 | 2.09 |
| | | 40ST, 40S | .145 | 1.610 | 0.800 | .01414 | .497 | .421 | 6.34 | 3170 | 2.72 |
| | | 80XS, 80S | .200 | 1.500 | 1.069 | .01225 | .497 | .393 | 5.49 | 2745 | 3.63 |
| | | 160 | .281 | 1.338 | 1.429 | .00976 | .497 | .350 | 4.38 | 2190 | 4.86 |
| | | XX | .400 | 1.100 | 1.885 | .00660 | .497 | .288 | 2.96 | 1480 | 6.41 |
| 2 | 2.375 | 5S | .065 | 2.245 | 0.472 | .02749 | .622 | .588 | 12.34 | 6170 | 1.61 |
| | | 10S | .109 | 2.157 | 0.776 | .02538 | .622 | .565 | 11.39 | 5695 | 2.64 |
| | | 40ST, 40S | .154 | 2.067 | 1.075 | .02330 | .622 | .541 | 10.45 | 5225 | 3.65 |
| | | 80ST, 80S | .218 | 1.939 | 1.477 | .02050 | .622 | .508 | 9.20 | 4600 | 5.02 |
| | | 160 | .344 | 1.687 | 2.195 | .01552 | .622 | .436 | 6.97 | 3485 | 7.46 |
| | | XX | .436 | 1.503 | 2.656 | .01232 | .622 | .393 | 5.53 | 2765 | 9.03 |
| 2½ | 2.875 | 5S | .083 | 2.709 | 0.728 | .04003 | .753 | .709 | 17.97 | 8985 | 2.48 |
| | | 10S | .120 | 2.635 | 1.039 | .03787 | .753 | .690 | 17.00 | 8500 | 3.53 |
| | | 40ST, 40S | .203 | 2.469 | 1.704 | .03322 | .753 | .647 | 14.92 | 7460 | 5.79 |
| | | 80XS, 80S | .276 | 2.323 | 2.254 | .02942 | .753 | .608 | 13.20 | 6600 | 7.66 |
| | | 160 | .375 | 2.125 | 2.945 | .02463 | .753 | .556 | 11.07 | 5535 | 10.01 |
| | | XX | .552 | 1.771 | 4.028 | .01711 | .753 | .464 | 7.68 | 3840 | 13.69 |
| 3 | 3.500 | 5S | .083 | 3.334 | 0.891 | .06063 | .916 | .873 | 27.21 | 13,605 | 3.03 |
| | | 10S | .120 | 3.260 | 1.274 | .05796 | .916 | .853 | 26.02 | 13,010 | 4.33 |
| | | 40ST, 40S | .216 | 3.068 | 2.228 | .05130 | .916 | .803 | 23.00 | 11,500 | 7.58 |
| | | 80XS, 80S | .300 | 2.900 | 3.016 | .04587 | .916 | .759 | 20.55 | 10,275 | 10.25 |
| | | 160 | .438 | 2.624 | 4.213 | .03755 | .916 | .687 | 16.86 | 8430 | 14.32 |
| | | XX | .600 | 2.300 | 5.466 | .02885 | .916 | .602 | 12.95 | 6475 | 18.58 |
| 3½ | 4.0 | 5S | .083 | 3.834 | 1.021 | .08017 | 1.047 | 1.004 | 35.98 | 17,990 | 3.48 |
| | | 10S | .120 | 3.760 | 1.463 | .07711 | 1.047 | 0.984 | 34.61 | 17,305 | 4.97 |
| | | 40ST, 40S | .226 | 3.548 | 2.680 | .06870 | 1.047 | 0.929 | 30.80 | 15,400 | 9.11 |
| | | 80XS, 80S | .318 | 3.364 | 3.678 | .06170 | 1.047 | 0.881 | 27.70 | 13,850 | 12.50 |
| 4 | 4.5 | 5S | .083 | 4.334 | 1.152 | .10245 | 1.178 | 1.135 | 46.0 | 23,000 | 3.92 |
| | | 10S | .120 | 4.260 | 1.651 | .09898 | 1.178 | 1.115 | 44.4 | 22,200 | 5.61 |
| | | 40ST, 40S | .237 | 4.026 | 3.17 | .08840 | 1.178 | 1.054 | 39.6 | 19,800 | 10.79 |

40 S

40 S

| Nominal Pipe Size (in.) | Outside Diameter (in.) | Schedule No. | Wall Thickness (in.) | Inside Diameter (in.) | Cross-Sectional Area | | Circumference (ft) or Surface (ft/ft of Length) | | Capacity at 1 ft/s Velocity | |
|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|---|--------|-----------------------------|--------------------------|
| | | | | | Metal (in. ²) | Flow (ft ²) | Outside | Inside | U.S. gpm | lb _m /h Water |
| | | | | | | | | | | |
| 1/8 | 0.405 | 10S | 0.949 | 0.307 | 0.055 | 0.00051 | 0.106 | 0.0804 | 0.231 | 115.5 |
| | | 40ST, 40S | 1.068 | 0.269 | 0.072 | 0.00040 | 0.106 | 0.0705 | 0.179 | 89.5 |
| | | 80X, 80S | 0.095 | 0.215 | 0.093 | 0.00025 | 0.106 | 0.0563 | 0.113 | 56.5 |
| 1/4 | 0.540 | 10S | 0.065 | 0.410 | 0.097 | 0.00092 | 0.141 | 0.107 | 0.412 | 206.5 |
| | | 40ST, 40S | 0.088 | 0.364 | 0.125 | 0.00072 | 0.141 | 0.095 | 0.323 | 161.5 |
| | | 80XS, 80S | 0.119 | 0.302 | 0.157 | 0.00050 | 0.141 | 0.079 | 0.224 | 112.0 |
| 3/8 | 0.675 | 10S | 0.065 | 0.545 | 0.125 | 0.00162 | 0.177 | 0.143 | 0.727 | 363.5 |
| | | 40ST, 40S | 0.091 | 0.493 | 0.167 | 0.00133 | 0.177 | 0.129 | 0.596 | 298.0 |
| | | 80XS, 80S | 0.126 | 0.423 | 0.217 | 0.00098 | 0.177 | 0.111 | 0.440 | 220.0 |
| 1/2 | 0.840 | 5S | 0.065 | 0.710 | 0.158 | 0.00275 | 0.220 | 0.186 | 1.234 | 617.0 |
| | | 10S | 0.083 | 0.674 | 0.197 | 0.00248 | 0.220 | 0.176 | 1.112 | 556.0 |
| | | 40ST, 40S | 0.109 | 0.622 | 0.250 | 0.00211 | 0.220 | 0.163 | 0.945 | 472.0 |
| | | 80XS, 80S | 0.147 | 0.546 | 0.320 | 0.00163 | 0.220 | 0.143 | 0.730 | 365.0 |
| | | 160 | 0.188 | 0.464 | 0.385 | 0.00117 | 0.220 | 0.122 | 0.527 | 263.5 |
| | | XX | 0.294 | 0.252 | 0.504 | 0.00035 | 0.220 | 0.066 | 0.155 | 77.5 |
| 3/4 | 1.050 | 5S | 0.065 | 0.920 | 0.201 | 0.00461 | 0.275 | 0.241 | 2.072 | 1036.0 |
| | | 10S | 0.083 | 0.884 | 0.252 | 0.00426 | 0.275 | 0.231 | 1.903 | 951.5 |
| | | 40ST, 40S | 0.113 | 0.824 | 0.333 | 0.00371 | 0.275 | 0.216 | 1.665 | 832.5 |
| | | 80XS, 80S | 0.154 | 0.742 | 0.433 | 0.00300 | 0.275 | 0.194 | 1.345 | 672.5 |
| | | 160 | 0.219 | 0.612 | 0.572 | 0.00204 | 0.275 | 0.160 | 0.917 | 458.5 |
| | | XX | 0.308 | 0.434 | 0.718 | 0.00103 | 0.275 | 0.114 | 0.461 | 230.5 |
| 1 | 1.315 | 5S | 0.065 | 1.185 | 0.255 | 0.00768 | 0.344 | 0.310 | 3.449 | 1,725 |
| | | 10S | 0.109 | 1.097 | 0.413 | 0.00656 | 0.344 | 0.287 | 2.946 | 1,473 |
| | | 40ST, 40S | 0.133 | 1.049 | 0.494 | 0.00600 | 0.344 | 0.275 | 2.690 | 1,345 |
| | | 80XS, 80S | 0.179 | 0.957 | 0.639 | 0.00499 | 0.344 | 0.250 | 2.240 | 1,120 |
| | | 160 | 0.250 | 0.815 | 0.836 | 0.00362 | 0.344 | 0.213 | 1.625 | 812.5 |
| | | XX | 0.358 | 0.599 | 1.076 | 0.00196 | 0.344 | 0.157 | 0.878 | 439.0 |
| 1 1/4 | 1.660 | 5S | 0.065 | 1.530 | 0.326 | 0.01277 | 0.435 | 0.401 | 5.73 | 2,865 |
| | | 10S | 0.109 | 1.442 | 0.531 | 0.01134 | 0.435 | 0.378 | 5.09 | 2,545 |
| | | 40ST, 40S | 0.140 | 1.380 | 0.668 | 0.01040 | 0.435 | 0.361 | 4.57 | 2,285 |
| | | 80XS, 80S | 0.191 | 1.278 | 0.881 | 0.00891 | 0.435 | 0.335 | 3.99 | 1,995 |

| Nominal Pipe Size (in.) | Outside Diameter (in.) | Schedule No. | Wall Thickness (in.) | Inside Diameter (in.) | Cross-Sectional Area | | Circumference (ft) or Surface (ft/ft of Length) | | Capacity at 1 ft/s Velocity | |
|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|---|--------|-----------------------------|--------------------------|
| | | | | | Metal (in. ²) | Flow (ft ²) | Outside | Inside | U.S. gpm | lb _m /h Water |
| | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | 1.900 | 5S | 0.065 | 1.770 | 0.375 | 0.01709 | 0.497 | 0.463 | 7.67 | 3,835 |
| | | 10S | 0.109 | 1.682 | 0.614 | 0.01543 | 0.497 | 0.440 | 6.94 | 3,465 |
| | | 40ST, 40S | 0.145 | 1.610 | 0.800 | 0.01414 | 0.497 | 0.421 | 6.34 | 3,170 |
| | | 80XS, 80S | 0.200 | 1.500 | 1.069 | 0.01225 | 0.497 | 0.393 | 5.49 | 2,745 |
| | | 160 | 0.281 | 1.338 | 1.439 | 0.00976 | 0.497 | 0.350 | 4.38 | 2,190 |
| 2 | 2.375 | XX | 0.400 | 1.100 | 1.885 | 0.00660 | 0.497 | 0.288 | 2.96 | 1,480 |
| | | 5S | 0.065 | 2.245 | 0.472 | 0.02749 | 0.622 | 0.588 | 12.34 | 6,170 |
| | | 10S | 0.109 | 2.157 | 0.776 | 0.02538 | 0.622 | 0.565 | 11.39 | 5,695 |
| | | 40ST, 40S | 0.154 | 2.067 | 1.075 | 0.02330 | 0.622 | 0.541 | 10.45 | 5,225 |
| | | 80ST, 80S | 0.218 | 1.939 | 1.477 | 0.02050 | 0.622 | 0.508 | 9.20 | 4,600 |
| 2 1/2 | 2.875 | 160 | 0.344 | 1.687 | 2.195 | 0.01552 | 0.622 | 0.436 | 6.97 | 3,485 |
| | | XX | 0.436 | 1.503 | 2.656 | 0.01232 | 0.622 | 0.393 | 5.53 | 2,765 |
| | | 5S | 0.083 | 2.709 | 0.728 | 0.04003 | 0.753 | 0.709 | 17.97 | 8,985 |
| | | 10S | 0.120 | 2.635 | 1.039 | 0.03787 | 0.753 | 0.690 | 17.00 | 8,500 |
| | | 40ST, 40S | 0.203 | 2.469 | 1.704 | 0.03322 | 0.753 | 0.647 | 14.92 | 7,460 |
| 3 | 3.500 | 80XS, 80S | 0.276 | 2.323 | 2.254 | 0.2942 | 0.753 | 0.608 | 13.20 | 6,600 |
| | | 160 | 0.375 | 2.125 | 2.945 | 0.2463 | 0.753 | 0.556 | 11.07 | 5,535 |
| | | XX | 0.552 | 1.771 | 4.028 | 0.01711 | 0.753 | 0.464 | 7.68 | 3,840 |
| | | 5S | 0.083 | 3.334 | 0.891 | 0.06063 | 0.916 | 0.873 | 27.21 | 13,605 |
| | | 10S | 0.120 | 3.260 | 1.274 | 0.05796 | 0.916 | 0.853 | 26.02 | 13,010 |
| 3 1/2 | 4.0 | 40ST, 40S | 0.216 | 3.068 | 2.228 | 0.05130 | 0.916 | 0.803 | 23.00 | 11,500 |
| | | 80XS, 80S | 0.300 | 2.900 | 3.016 | 0.04587 | 0.916 | 0.759 | 20.55 | 10,275 |
| | | 160 | 0.438 | 2.624 | 4.213 | 0.03755 | 0.916 | 0.687 | 16.86 | 8,430 |
| | | XX | 0.600 | 2.300 | 5.466 | 0.02885 | 0.916 | 0.602 | 12.95 | 6,475 |
| | | 5S | 0.083 | 3.834 | 1.021 | 0.08017 | 1.047 | 1.004 | 35.98 | 17,990 |
| 4 | 4.5 | 10S | 0.120 | 3.760 | 1.463 | 0.07711 | 1.047 | 0.984 | 34.61 | 17,305 |
| | | 40ST, 40S | 0.226 | 3.548 | 2.680 | 0.06870 | 1.047 | 0.929 | 30.80 | 15,400 |
| | | 80XS, 80S | 0.318 | 3.364 | 3.678 | 0.06170 | 1.047 | 0.881 | 27.70 | 13,850 |
| | | 5S | 0.083 | 4.334 | 1.152 | 0.10245 | 1.178 | 1.135 | 46.0 | 23,000 |
| | | 10S | 0.120 | 4.260 | 1.651 | 0.09898 | 1.178 | 1.115 | 44.4 | 22,200 |
| 4 1/2 | 5.0 | 40ST, 40S | 0.237 | 4.026 | 3.17 | 0.08840 | 1.178 | 1.054 | 39.6 | 19,800 |
| | | 80XS, 80S | 0.337 | 3.826 | 4.41 | 0.07986 | 1.178 | 1.002 | 35.8 | 17,900 |
| | | 120 | 0.438 | 3.624 | 5.58 | 0.07170 | 1.178 | 0.949 | 32.2 | 16,100 |
| | | 160 | 0.531 | 3.438 | 6.62 | 0.06647 | 1.178 | 0.900 | 28.9 | 14,450 |
| | | XX | 0.674 | 3.152 | 8.10 | 0.05419 | 1.178 | 0.825 | 24.3 | 12,150 |

| Nominal Pipe Size (in.) | Outside Diameter (in.) | Schedule No. | Wall Thickness (in.) | Inside Diameter (in.) | Cross-Sectional Area | | Circumference (ft) or Surface (ft/ft of Length) | | Capacity at 1 ft/s Velocity | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|---|--------|-----------------------------|--------------------------|-------|--------|
| | | | | | Metal (in. ²) | Flow (ft ²) | Outside | Inside | U.S. gpm | lb _m /h Water | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 5.563 | XX | 0.674 | 3.152 | 8.10 | 0.05419 | 1.178 | 0.825 | 24.3 | 12,150 | | |
| | | 5S | 0.109 | 5.345 | 1.87 | 0.1558 | 1.456 | 1.399 | 69.9 | 34,950 | | |
| | | 10S | 0.134 | 5.295 | 2.29 | 0.1529 | 1.456 | 1.386 | 68.6 | 34,300 | | |
| | | 40ST, 40S | 0.258 | 5.047 | 4.30 | 0.1390 | 1.456 | 1.321 | 62.3 | 31,150 | | |
| | | 80XS, 80S | 0.375 | 4.813 | 6.11 | 0.1263 | 1.456 | 1.260 | 57.7 | 28,850 | | |
| | | 120 | 0.500 | 4.563 | 7.95 | 0.1136 | 1.456 | 1.195 | 51.0 | 25,500 | | |
| | | 160 | 0.625 | 4.313 | 9.70 | 0.1015 | 1.456 | 1.129 | 45.5 | 22,750 | | |
| | | XX | 0.750 | 4.063 | 11.34 | 0.0900 | 1.456 | 1.064 | 40.4 | 20,200 | | |
| | | 6 | 6.625 | 5S | 0.109 | 6.407 | 2.23 | 0.2239 | 1.734 | 1.677 | 100.5 | 50,250 |
| | | | | 10S | 0.134 | 6.357 | 2.73 | 0.2204 | 1.734 | 1.664 | 98.9 | 49,450 |
| 40ST, 40S | 0.280 | | | 6.065 | 5.58 | 0.2006 | 1.734 | 1.588 | 90.0 | 45,000 | | |
| 80XS, 80S | 0.432 | | | 5.761 | 8.40 | 0.1810 | 1.734 | 1.508 | 81.1 | 40,550 | | |
| 120 | 0.562 | | | 5.501 | 10.70 | 0.1650 | 1.734 | 1.440 | 73.9 | 36,950 | | |
| 160 | 0.719 | | | 5.187 | 13.34 | 0.1467 | 1.734 | 1.358 | 65.9 | 32,950 | | |
| XX | 0.864 | | | 4.897 | 15.64 | 0.1308 | 1.734 | 1.282 | 58.7 | 29,350 | | |
| 8 | 8.625 | | | 5S | 0.109 | 8.407 | 2.915 | 0.3855 | 2.258 | 2.201 | 173.0 | 86,500 |
| | | | | 10S | 0.148 | 8.329 | 3.941 | 0.3784 | 2.258 | 2.180 | 169.8 | 84,900 |
| | | | | 20 | 0.250 | 8.125 | 6.578 | 0.3601 | 2.258 | 2.127 | 161.5 | 80,750 |
| | | 30 | 0.277 | 8.071 | 7.265 | 0.3553 | 2.258 | 2.113 | 159.4 | 79,700 | | |
| | | 40ST, 40S | 0.322 | 7.981 | 8.399 | 0.3474 | 2.258 | 2.089 | 155.7 | 77,850 | | |
| | | 60 | 0.406 | 7.813 | 10.48 | 0.3329 | 2.258 | 2.045 | 149.4 | 74,700 | | |
| | | 80XS, 80S | 0.500 | 7.625 | 12.76 | 0.3171 | 2.258 | 1.996 | 142.3 | 71,150 | | |
| | | 100 | 0.594 | 7.437 | 14.99 | 0.3017 | 2.258 | 1.947 | 135.4 | 67,700 | | |
| | | 120 | 0.719 | 7.187 | 17.86 | 0.2817 | 2.258 | 1.882 | 126.4 | 63,200 | | |
| | | 140 | 0.812 | 7.001 | 19.93 | 0.2673 | 2.258 | 1.833 | 120.0 | 60,000 | | |
| XX | 0.875 | 6.875 | 21.30 | 0.2578 | 2.258 | 1.800 | 115.7 | 57,850 | | | | |
| 160 | 0.906 | 6.813 | 21.97 | 0.2532 | 2.258 | 1.784 | 113.5 | 56,750 | | | | |

| Nominal Pipe Size (in.) | Outside Diameter (in.) | Schedule No. | Wall Thickness (in.) | Inside Diameter (in.) | Cross-Sectional Area | | Circumference (ft) or Surface (ft/ft of Length) | | Capacity at 1 ft/s Velocity | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|---|--------|-----------------------------|--------------------------|-------|---------|
| | | | | | Metal (in. ²) | Flow (ft ²) | Outside | Inside | U.S. gpm | lb _m /h Water | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 10.75 | 5S | 0.134 | 10.482 | 4.47 | 0.5993 | 2.814 | 2.744 | 269.0 | 134,500 | | |
| | | 10S | 0.165 | 10.420 | 5.49 | 0.5922 | 2.814 | 2.728 | 265.8 | 132,900 | | |
| | | 20 | 0.250 | 10.250 | 8.25 | 0.5731 | 2.814 | 2.685 | 257.0 | 128,500 | | |
| | | 30 | 0.307 | 10.136 | 10.07 | 0.5603 | 2.814 | 2.655 | 252.0 | 126,000 | | |
| | | 40ST, 40S | 0.365 | 10.020 | 11.91 | 0.5745 | 2.814 | 2.620 | 246.0 | 123,000 | | |
| | | 80S, 60XS | 0.500 | 9.750 | 16.10 | 0.5185 | 2.814 | 2.550 | 233.0 | 116,500 | | |
| | | 80 | 0.594 | 9.562 | 18.95 | 0.4987 | 2.814 | 2.503 | 223.4 | 111,700 | | |
| | | 100 | 0.719 | 9.312 | 22.66 | 0.4728 | 2.814 | 2.438 | 212.3 | 106,150 | | |
| | | 120 | 0.844 | 9.062 | 26.27 | 0.4479 | 2.814 | 2.372 | 201.0 | 100,500 | | |
| | | 140, XX | 1.000 | 8.750 | 30.63 | 0.4176 | 2.814 | 2.291 | 188.0 | 94,000 | | |
| | | 160 | 1.125 | 8.500 | 34.02 | 0.3941 | 2.814 | 2.225 | 177.0 | 88,500 | | |
| | | 12 | 12.75 | 5S | 0.156 | 12.428 | 6.17 | 0.8438 | 3.338 | 3.26 | 378.7 | 189,350 |
| | | | | 10S | 0.180 | 12.390 | 7.11 | 0.8373 | 3.338 | 3.24 | 375.8 | 187,900 |
| | | | | 20 | 0.250 | 12.250 | 9.82 | 0.8185 | 3.338 | 3.21 | 367.0 | 183,500 |
| 30 | 0.330 | | | 12.090 | 12.88 | 0.7972 | 3.338 | 3.17 | 358.0 | 179,000 | | |
| ST, 40S | 0.375 | | | 12.000 | 14.58 | 0.7854 | 3.338 | 3.14 | 352.5 | 176,250 | | |
| 40 | 0.406 | | | 11.938 | 15.74 | 0.7773 | 3.338 | 3.13 | 349.0 | 174,500 | | |
| XS, 80S | 0.500 | | | 11.750 | 19.24 | 0.7530 | 3.338 | 3.08 | 338.0 | 169,000 | | |
| 60 | 0.562 | | | 11.626 | 21.52 | 0.7372 | 3.338 | 3.04 | 331.0 | 165,500 | | |
| 80 | 0.688 | | | 11.374 | 26.07 | 0.7056 | 3.338 | 2.98 | 316.7 | 158,350 | | |
| 100 | 0.844 | | | 11.062 | 31.57 | 0.6674 | 3.338 | 2.90 | 299.6 | 149,800 | | |
| 120, XX | 1.000 | | | 10.750 | 36.91 | 0.6303 | 3.338 | 2.81 | 283.0 | 141,500 | | |
| 140 | 1.125 | | | 10.500 | 41.09 | 0.6013 | 3.338 | 2.75 | 270.0 | 135,000 | | |
| 160 | 1.312 | | | 10.136 | 47.14 | 0.5592 | 3.338 | 2.65 | 251.0 | 125,500 | | |
| 14 | 14 | | | 5S | 0.156 | 13.688 | 6.78 | 1.0219 | 3.665 | 3.58 | 459 | 229,500 |
| | | 10S | 0.188 | 13.624 | 8.16 | 1.0125 | 3.665 | 3.57 | 454 | 227,000 | | |
| | | 10 | 0.250 | 13.500 | 10.80 | 0.9940 | 3.665 | 3.53 | 446 | 223,000 | | |
| | | 20 | 0.312 | 13.376 | 13.42 | 0.9750 | 3.665 | 3.50 | 438 | 219,000 | | |
| | | 30, ST | 0.375 | 13.191 | 15.75 | 0.9575 | 3.665 | 3.47 | 430 | 215,000 | | |
| | | 40 | 0.438 | 13.039 | 17.97 | 0.9397 | 3.665 | 3.44 | 422 | 211,000 | | |
| | | XS | 0.500 | 13.000 | 21.21 | 0.9218 | 3.665 | 3.40 | 414 | 207,000 | | |
| | | 60 | 0.594 | 12.812 | 25.02 | 0.8957 | 3.665 | 3.35 | 402 | 201,000 | | |
| | | 80 | 0.750 | 12.500 | 31.22 | 0.8522 | 3.665 | 3.27 | 382 | 191,000 | | |
| | | 100 | 0.938 | 12.124 | 38.49 | 0.8017 | 3.665 | 3.17 | 360 | 180,000 | | |
| | | 120 | 1.094 | 11.812 | 44.36 | 0.7610 | 3.665 | 3.09 | 342 | 171,000 | | |
| | | 140 | 1.250 | 11.500 | 50.07 | 0.7213 | 3.665 | 3.01 | 324 | 162,000 | | |
| | | 160 | 1.406 | 11.188 | 55.63 | 0.6827 | 3.665 | 2.93 | 306 | 153,000 | | |

| Nominal Pipe Size (in.) | Outside Diameter (in.) | Schedule No. | Wall Thickness (in.) | Inside Diameter (in.) | Cross-Sectional Area | | Circumference (ft) or Surface (ft/ft of Length) | | | Capacity at 1 ft/s Velocity | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|---|--------|----------|-----------------------------|-----|---------|
| | | | | | Metal (in. ²) | Flow (ft ²) | Outside | Inside | U.S. gpm | lb _m /h Water | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 16 | 160 | 1.406 | 11.188 | 55.63 | 0.6827 | 3.665 | 2.93 | 306 | 153,000 | | |
| | | 5S | 0.165 | 15.670 | 8.21 | 1.3393 | 4.189 | 4.10 | 601 | 300,500 | | |
| | | 10S | 0.188 | 15.624 | 9.34 | 1.3314 | 4.189 | 4.09 | 598 | 299,000 | | |
| | | 10 | 0.250 | 15.500 | 12.37 | 1.3104 | 4.189 | 4.06 | 587 | 293,500 | | |
| | | 20 | 0.312 | 15.376 | 15.38 | 1.2985 | 4.189 | 4.03 | 578 | 289,000 | | |
| | | 30, ST | 0.375 | 15.250 | 18.41 | 1.2680 | 4.189 | 3.99 | 568 | 284,000 | | |
| | | 40, XS | 0.500 | 15.000 | 24.35 | 1.2272 | 4.189 | 3.93 | 550 | 275,000 | | |
| | | 60 | 0.656 | 14.688 | 31.62 | 1.766 | 4.189 | 3.85 | 528 | 264,000 | | |
| | | 80 | 0.844 | 14.312 | 40.19 | 1.1171 | 4.189 | 3.75 | 501 | 250,500 | | |
| | | 100 | 1.031 | 13.939 | 48.48 | 1.0596 | 4.189 | 3.65 | 474 | 237,000 | | |
| | | 120 | 1.219 | 13.562 | 56.61 | 1.0032 | 4.189 | 3.55 | 450 | 225,000 | | |
| | | 140 | 1.438 | 13.124 | 65.79 | 0.9394 | 4.189 | 3.44 | 422 | 211,000 | | |
| | | 160 | 1.594 | 12.812 | 72.14 | 0.8953 | 4.189 | 3.35 | 402 | 201,000 | | |
| | | 18 | 18 | 5S | 0.165 | 17.760 | 9.25 | 1.8029 | 4.712 | 4.63 | 764 | 382,000 |
| | | | | 10S | 0.188 | 17.624 | 10.52 | 1.6941 | 4.712 | 4.61 | 760 | 379,400 |
| | | | | 10 | 0.250 | 17.500 | 13.94 | 1.6703 | 4.712 | 4.58 | 750 | 375,000 |
| 20 | 0.312 | | | 17.376 | 17.34 | 1.6468 | 4.712 | 4.55 | 739 | 369,500 | | |
| ST | 0.375 | | | 17.250 | 20.76 | 1.6230 | 4.712 | 4.52 | 728 | 364,000 | | |
| 30 | 0.438 | | | 17.124 | 24.16 | 1.5993 | 4.712 | 4.48 | 718 | 359,000 | | |
| XS | 0.500 | | | 17.000 | 27.49 | 1.5763 | 4.712 | 4.45 | 707 | 353,500 | | |
| 40 | 0.562 | | | 16.876 | 30.79 | 1.5533 | 4.712 | 4.42 | 697 | 348,500 | | |
| 60 | 0.750 | | | 16.500 | 40.54 | 1.4849 | 4.712 | 4.32 | 666 | 333,000 | | |
| 80 | 0.938 | | | 16.124 | 50.28 | 1.4180 | 4.712 | 4.2 | 636 | 318,000 | | |
| 100 | 1.156 | | | 15.688 | 61.17 | 1.3423 | 4.712 | 4.11 | 602 | 301,000 | | |

| Nominal Pipe Size (in.) | Outside Diameter (in.) | Schedule No. | Wall Thickness (in.) | Inside Diameter (in.) | Cross-Sectional Area | | Circumference (ft) or Surface (ft/ft of Length) | | Capacity at 1 ft/s Velocity | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|---|--------|-----------------------------|--------------------------|------|-----------|
| | | | | | Metal (in. ²) | Flow (ft ²) | Outside | Inside | U.S. gpm | lb _m /h Water | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 20 | 120 | 1.375 | 15.250 | 71.82 | 1.2684 | 4.712 | 3.99 | 569 | 284,500 | | |
| | | 140 | 1.562 | 14.876 | 80.66 | 1.2070 | 4.712 | 3.89 | 540 | 270,000 | | |
| | | 160 | 1.781 | 14.438 | 90.75 | 1.1370 | 4.712 | 3.78 | 510 | 255,000 | | |
| | | 5S | 0.188 | 19.624 | 11.70 | 2.1004 | 5.236 | 5.14 | 943 | 471,500 | | |
| | | 10S | 0.218 | 19.564 | 13.55 | 2.0878 | 5.236 | 5.12 | 937 | 467,500 | | |
| | | 10 | 0.250 | 19.500 | 5.51 | 2.0740 | 5.236 | 5.11 | 930 | 465,000 | | |
| | | 20, ST | 0.375 | 19.250 | 23.12 | 2.0211 | 5.236 | 5.04 | 902 | 451,000 | | |
| | | 30, XS | 0.500 | 19.000 | 30.63 | 1.9689 | 5.236 | 4.97 | 883 | 441,500 | | |
| | | 40 | 0.594 | 18.812 | 36.21 | 1.9302 | 5.236 | 4.92 | 866 | 433,000 | | |
| | | 60 | 0.812 | 18.376 | 48.95 | 1.8417 | 5.236 | 4.81 | 826 | 413,000 | | |
| | | 80 | 1.031 | 17.938 | 61.44 | 1.7550 | 5.236 | 4.70 | 787 | 393,500 | | |
| | | 100 | 1.281 | 17.438 | 75.33 | 1.6585 | 5.236 | 4.57 | 744 | 372,000 | | |
| | | 120 | 1.500 | 17.000 | 87.18 | 1.5763 | 5.236 | 4.45 | 707 | 353,500 | | |
| | | 140 | 1.750 | 16.500 | 100.3 | 1.4849 | 5.236 | 4.32 | 665 | 332,500 | | |
| | | 160 | 1.969 | 16.062 | 111.5 | 1.4071 | 5.236 | 4.21 | 632 | 316,000 | | |
| | | 24 | 24 | 5S | 0.218 | 23.564 | 16.29 | 3.0285 | 6.283 | 6.17 | 1359 | 579,500 |
| 20, 10S | 0.250 | | | 23.500 | 18.65 | 3.012 | 6.283 | 6.15 | 1350 | 675,000 | | |
| 20, ST | 0.375 | | | 23.250 | 27.83 | 2.948 | 6.283 | 6.09 | 1325 | 662,500 | | |
| XS | 0.500 | | | 23.000 | 36.90 | 2.885 | 6.283 | 6.02 | 1295 | 642,500 | | |
| 30 | 0.562 | | | 22.876 | 41.39 | 2.854 | 6.283 | 5.99 | 1281 | 640,500 | | |
| 40 | 0.688 | | | 22.624 | 50.39 | 2.792 | 6.283 | 5.92 | 1253 | 626,500 | | |
| 60 | 0.969 | | | 22.062 | 70.11 | 2.655 | 6.283 | 5.78 | 1192 | 596,000 | | |
| 80 | 1.219 | | | 21.562 | 87.24 | 2.536 | 6.283 | 5.64 | 1138 | 569,000 | | |
| 100 | 1.531 | | | 20.938 | 108.1 | 2.391 | 6.283 | 5.48 | 1073 | 536,500 | | |
| 120 | 1.812 | | | 20.376 | 126.3 | 2.264 | 6.283 | 5.33 | 1016 | 508,000 | | |
| 140 | 2.062 | | | 19.876 | 142.1 | 2.155 | 6.283 | 5.20 | 965 | 482,500 | | |
| 160 | 2.344 | | | 19.312 | 159.5 | 2.034 | 6.283 | 5.06 | 913 | 456,500 | | |
| 30 | 30 | | | 5S | 0.250 | 29.500 | 23.37 | 4.746 | 7.854 | 7.72 | 2130 | 1,065,000 |
| | | | | 10, 10S | 0.312 | 29.376 | 29.10 | 4.707 | 7.854 | 7.69 | 2110 | 1,055,000 |
| | | | | ST | 0.375 | 29.250 | 34.90 | 4.666 | 7.854 | 7.66 | 2094 | 1,048,000 |
| | | | | 20, XS | 0.500 | 29.000 | 46.34 | 4.587 | 7.854 | 7.59 | 2055 | 1,027,500 |
| | | 30 | 0.625 | 28.750 | 57.68 | 4.508 | 7.854 | 7.53 | 2020 | 1,010,000 | | |

| Diâmetro nominal (pol) -- Diâmetro externo (mm) | Designação de espessura. (v. Nota 2) | Espessura de parede (mm) (v. Nota 3) | Diâmetro interno (mm) | Area da seção livre (cm ²) | Area da seção de metal (cm ²) | Superfície externa (m ² /m) | Peso aproximado (kg/m) | | Momento de inércia (cm ⁴) | Momento resistente (cm ³) | Raio de giracão (cm) |
|---|---|---|-----------------------|--|---|--|------------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | | | | | | Tubo vazio (Nota 5) | Conteúdo de água | | | |
| 4 | 10S | 3,05 | 108,2 | 91,9 | 10,6 | 0,361 | 8,35 | 9,19 | 164,83 | 28,88 | 3,93 |
| | Std, 40, 40S | 6,02 | 102,3 | 82,1 | 20,4 | | 16,06 | 8,21 | 300,93 | 52,61 | 3,84 |
| | XS, 80, 80S | 8,56 | 97,2 | 74,2 | 28,4 | | 22,29 | 7,42 | 399,99 | 69,99 | 3,75 |
| | 160 | 13,5 | 87,3 | 59,9 | 42,7 | | 33,49 | 5,99 | 552,34 | 96,70 | 3,60 |
| 114 | XXS | 17,1 | 80,1 | 50,3 | 52,3 | 40,98 | 5,03 | 636,42 | 111,29 | 3,49 | |

40 S

TABLE 10-22 Properties of Steel Pipe

| Nominal pipe size, in | Outside diameter, in | Schedule no. | Wall thickness, in | Inside diameter, in | Cross-sectional area | | Circumference, ft, or surface, ff/ft of length | | Capacity at 1-ft/s velocity | | Weight per plain pipe |
|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--|--------|-----------------------------|------------|-----------------------|
| | | | | | Metal, in ² | Flow, ft ² | Outside | Inside | U.S. gal/min | lb/h water | |
| 3½ | 4.0 | 5S | .083 | 3.834 | 1.021 | .08017 | 1.047 | 1.004 | 35.98 | 17,990 | 3.0 |
| | | 10S | .120 | 3.760 | 1.463 | .07711 | 1.047 | 0.984 | 34.61 | 17,305 | 4.0 |
| | | 40ST, 40S | .226 | 3.548 | 2.680 | .06870 | 1.047 | 0.929 | 30.80 | 15,400 | 9.0 |
| | | 80XS, 80S | .318 | 3.364 | 3.678 | .06170 | 1.047 | 0.881 | 27.70 | 13,850 | 12.0 |
| 4 | 4.5 | 5S | .083 | 4.334 | 1.152 | .10245 | 1.178 | 1.135 | 46.0 | 23,000 | 3.0 |
| | | 10S | .120 | 4.260 | 1.651 | .09898 | 1.178 | 1.115 | 44.4 | 22,200 | 5.0 |
| | | 40ST, 40S | .237 | 4.026 | 3.17 | .08840 | 1.178 | 1.054 | 39.6 | 19,800 | 10.0 |

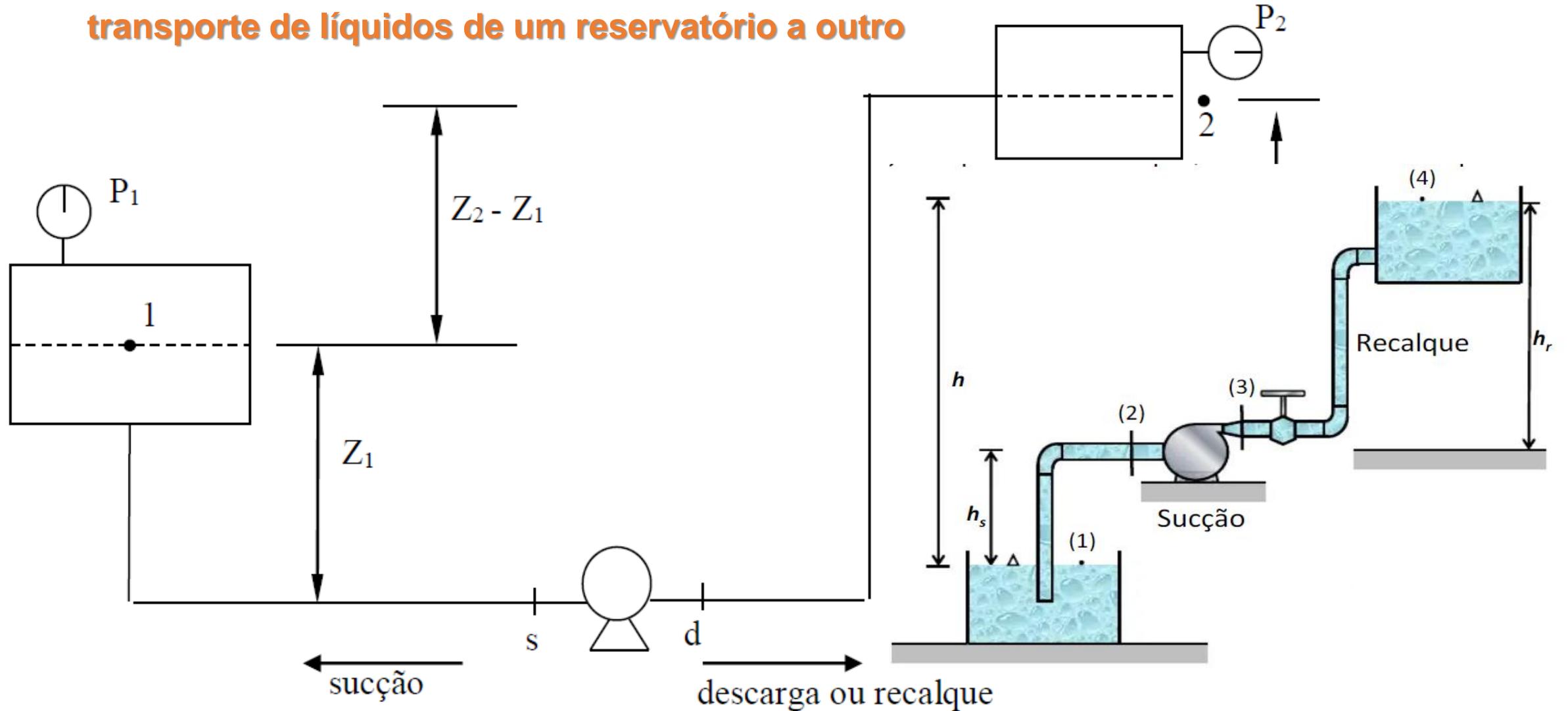
40 S

Tabela IV.5. Velocidades recomendadas para escoamento em tubulações
(Vilbrandt & Dryden), D_i = diâmetro interno do tubo (m).

| Tipo de fluido | Tipo de escoamento | Velocidade (m/s) |
|--|---------------------------|-------------------------|
| Líquido com viscosidade $\mu < 10\text{cP}$ (H_2O , álcool, etc.) | Entrada da bomba | $0,40 + 1,92 D_i$ |
| | Saída da bomba | $1,22 + 6,0 D_i$ |
| | Tubulações normais | 1,5 a 2,2 |
| Líquidos viscosos $\mu \geq 10\text{cP}$ (frações de petróleo) | Entrada da bomba | $0,06 + 0,6 D_i$ |
| | Saída da bomba | $0,15 + 1,2 D_i$ |
| | Tubulações normais | $0,30 + 6,0 D_i$ |

Altura manométrica total (AMT)

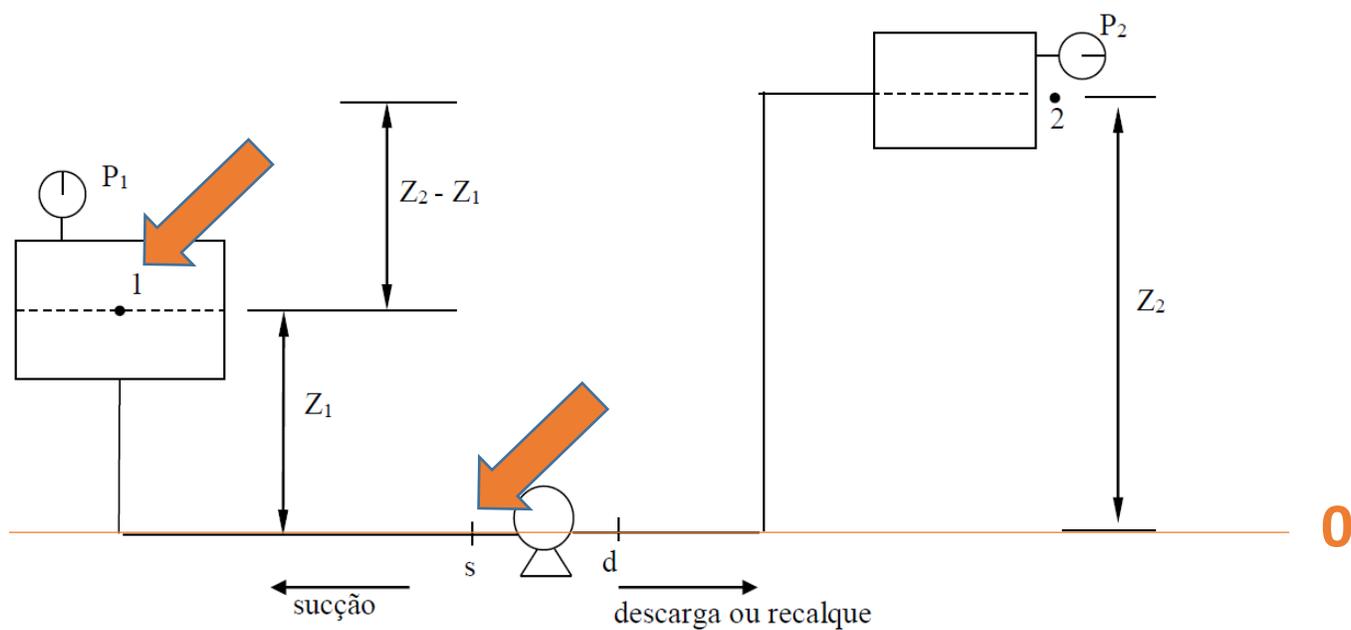
quantidade de energia necessária para realizar o transporte de líquidos de um reservatório a outro



Altura manométrica total (AMT)

- ✓ Representa a altura equivalente de uma coluna de fluido que produz a mesma pressão que está sendo medida;
- ✓ Descrever a pressão exercida por um fluido em relação a um ponto de referência, geralmente um ponto de nível de referência.

Embora a altura manométrica seja uma medida de energia, ela é expressa em metros (ou unidades de comprimento) devido à sua relação com a pressão do fluido e à equivalência com a altura de uma coluna de fluido.



Equação do Balanço de Energia Mecânica (Bernoulli) entre 1 e S:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} + z_s + l_{ws}$$

$l_{ws} \Rightarrow$ Perda de carga

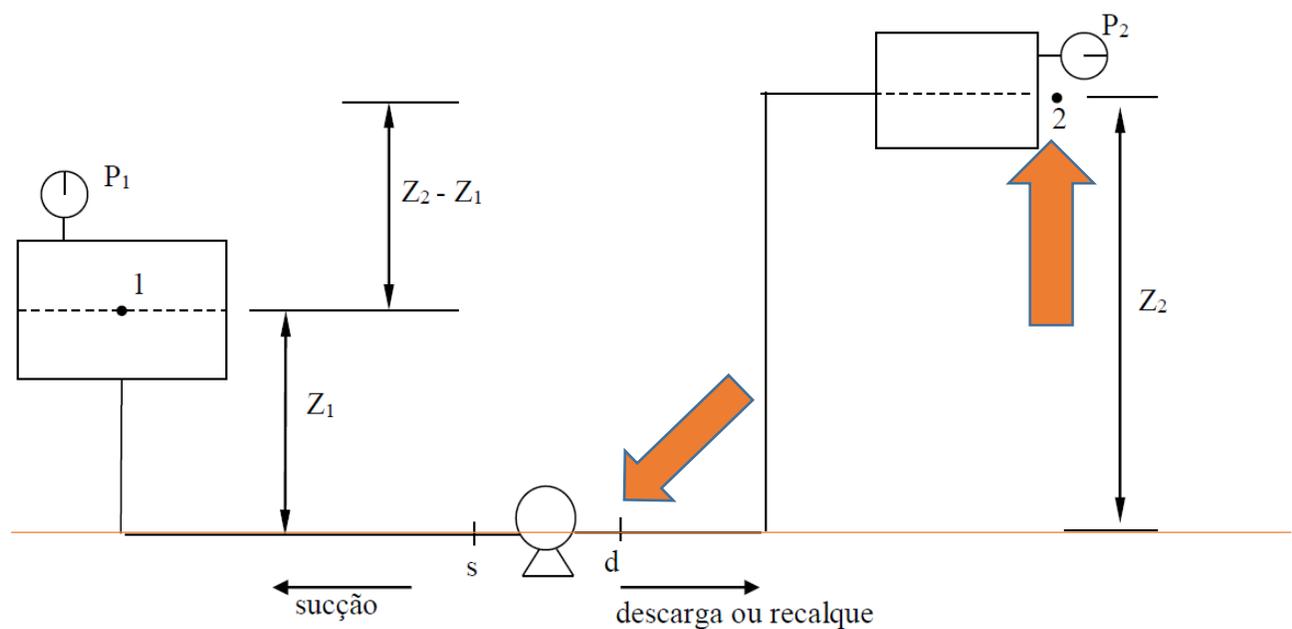
Qual é a energia na sucção? H_s

\Rightarrow Altura manométrica de sucção

(quantidade de energia por unidade

de peso existente na sucção (s))

$$H_s = \frac{P_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - l_{ws}$$



Equação do Balanço de Energia Mecânica (Bernoulli) entre D e 2:

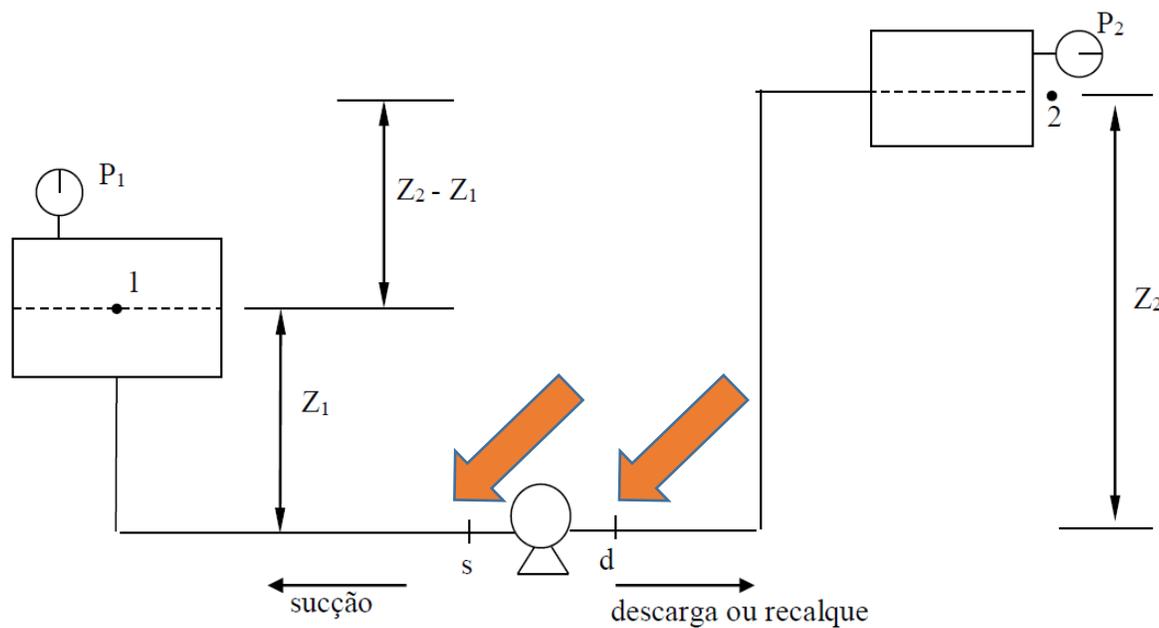
$$\frac{P_d}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g} + \cancel{z_d} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + l_{wd}$$

0

Qual é a energia na descarga? H_d

⇒ altura manométrica de recalque
ou descarga

$$H_d = \frac{P_d}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + l_{wd}$$



Equação do Balanço de Energia Mecânica (Bernoulli) entre **S e D**

$$\frac{P_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} + z_s + \eta W = \frac{P_d}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g} + z_d$$

A perda na bomba está incluída no Rendimento

η = rendimento da bomba = $\frac{\text{energia recebida pelo fluido ao passar pela bomba}}{\text{energia fornecida pelo eixo do motor à bomba (BHP)}}$

$$\eta W = \underbrace{\frac{P_d}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g}}_{H_d} - \underbrace{\frac{P_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g}}_{H_s}$$

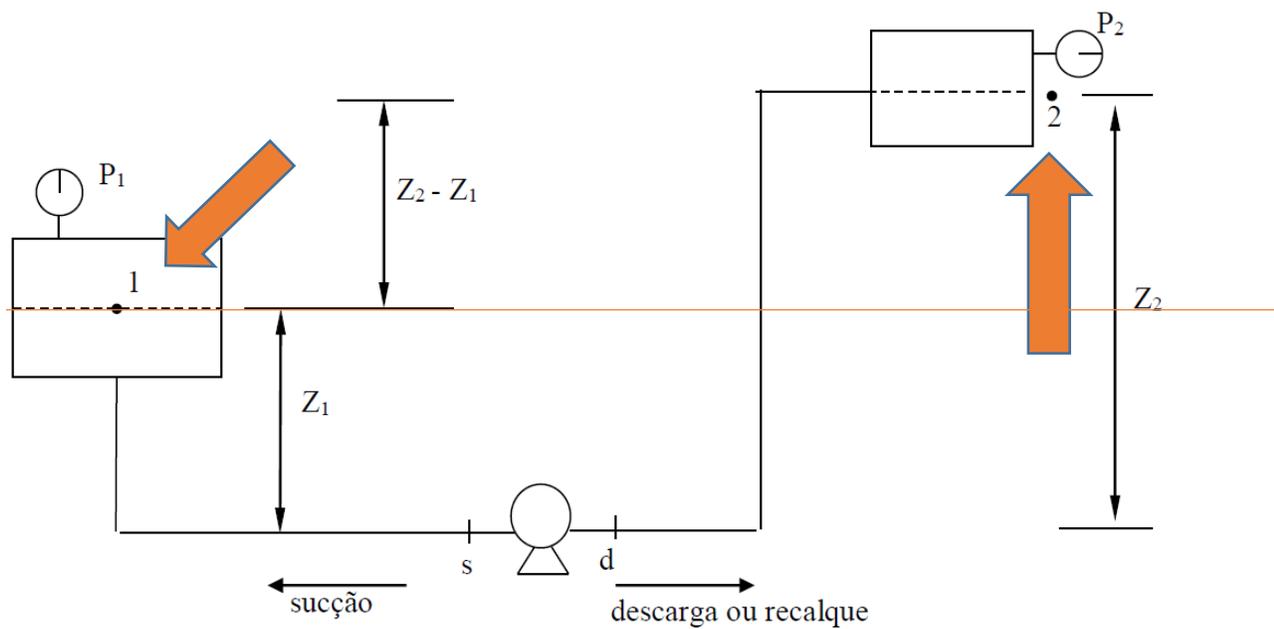
$$H_d - H_s$$

altura manométrica total: definida como a diferença entre a altura manométrica de descarga e a AM de sucção.

Se aplicarmos a outra parte das definições de H_d e H_s

$$\begin{aligned} H_d - H_s &= \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + l_{wd} - \left[\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - l_{ws} \right] \\ &= \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + l_{wd} + l_{ws} \\ &= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta z + l_{wTotal} = AMT \end{aligned}$$

AMT é a quantidade de energia por unidade de peso do fluido que a bomba deve fornecer ao fluido para transportá-lo de 1 até 2.



Se aplicarmos diretamente o BE mecânica entre 1 e 2, tomando 1 como referência:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \eta W = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + l_w$$

$$\eta W = \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta z + l_w$$

Curvas Características das Bombas Centrífugas

- ✓ Traduzem o funcionamento das bombas
- ✓ Fornecidas pelos fabricantes, que para obtê-las fazem a bomba vencer diferentes alturas manométricas com diversas vazões, verificando também a potência absorvida e a eficiência da bomba.

As curvas características são:

- Carga \times vazão
- Potência (BHP) \times vazão
- Eficiência \times vazão
- NPSH \times vazão
- Carga: energia por unidade de peso que a bomba é capaz de fornecer ao fluido.
- Potência

Potência

a) **Potência cedida ao fluido** ou **Water Horse Power (WHP)**: é a potência que o fluido recebe do rotor da bomba.

$$WHP = \gamma.H.Q$$

onde: γ = peso específico

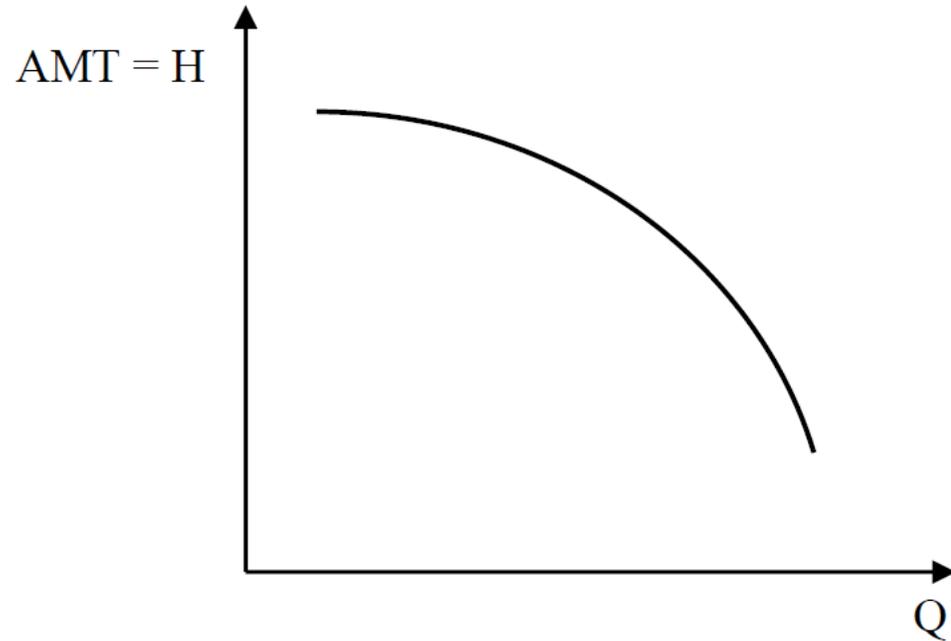
- H = AMT fornecida pela bomba
- Q = vazão volumétrica

b) **Potência absorvida pela bomba**: é a potência fornecida pelo motor ao conjunto rotor-eixo. É chamada **Brake Horse Power (BHP)**.

$$BHP = \gamma.Q.H_e \quad \text{onde: } H_e = \text{altura total de elevação possível}$$

$$\eta = \text{rendimento} = \frac{WHP}{BHP} = \frac{\text{potência convertida em potência útil}}{\text{potência fornecida ao eixo da bomba}}$$

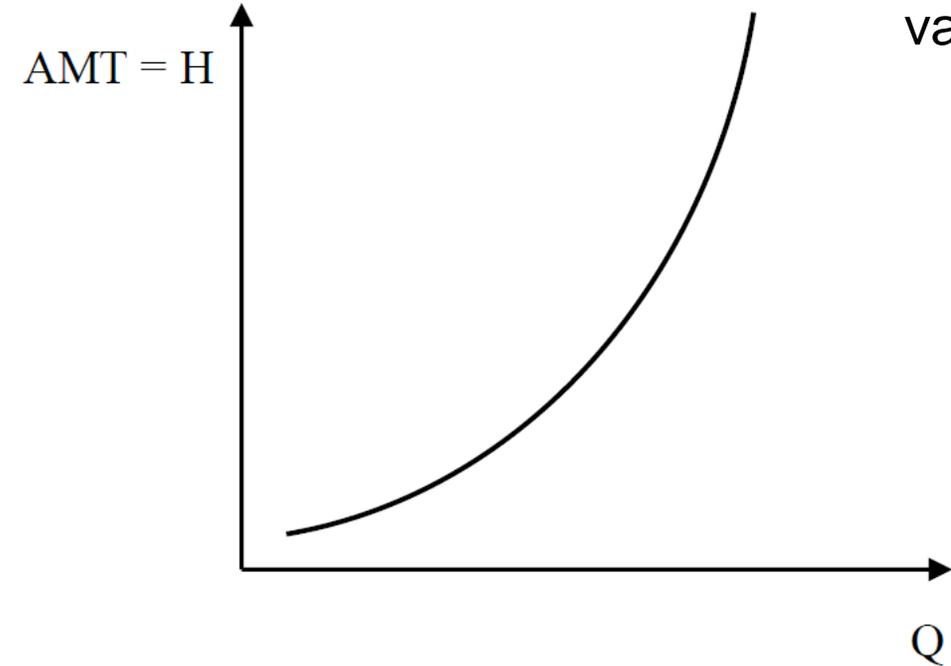
Curva Característica da Bomba



Quanto menor a vazão de fluido, maior é a quantidade de energia que a bomba transferirá ou fornecerá ao fluido.

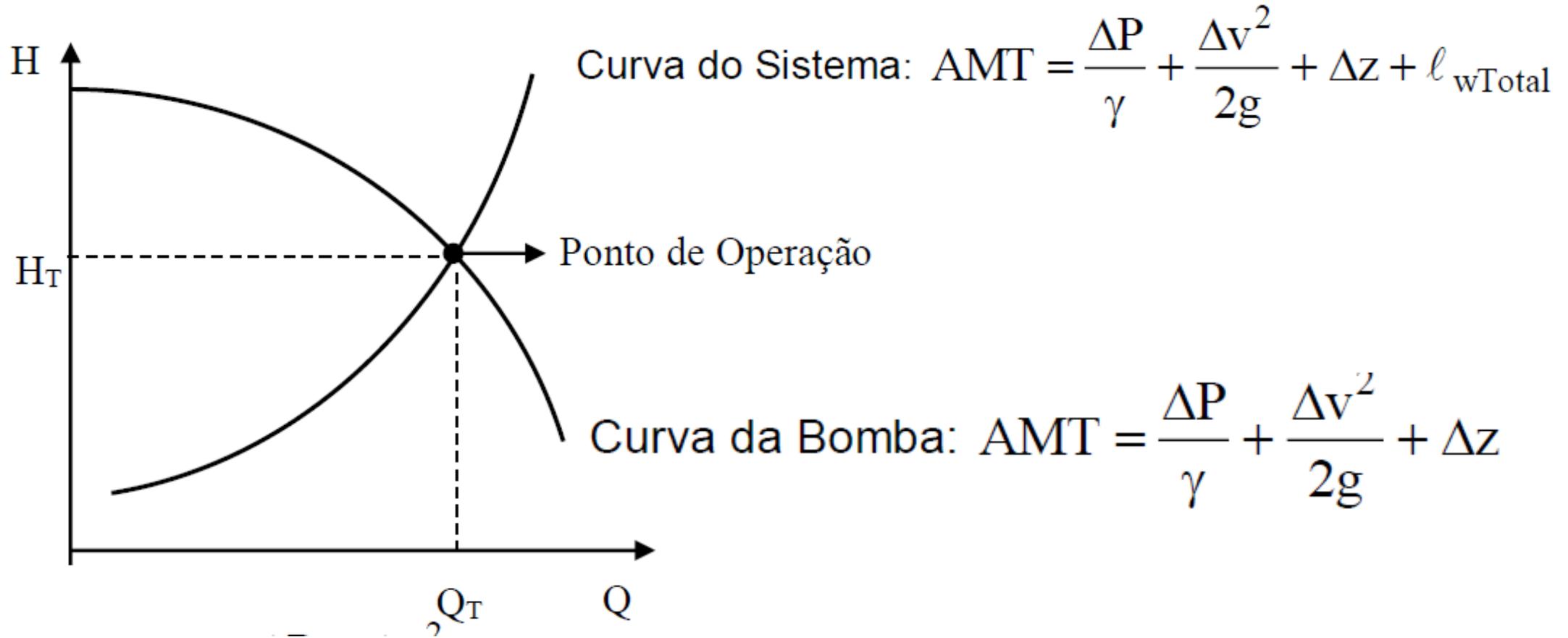
Curva do Sistema

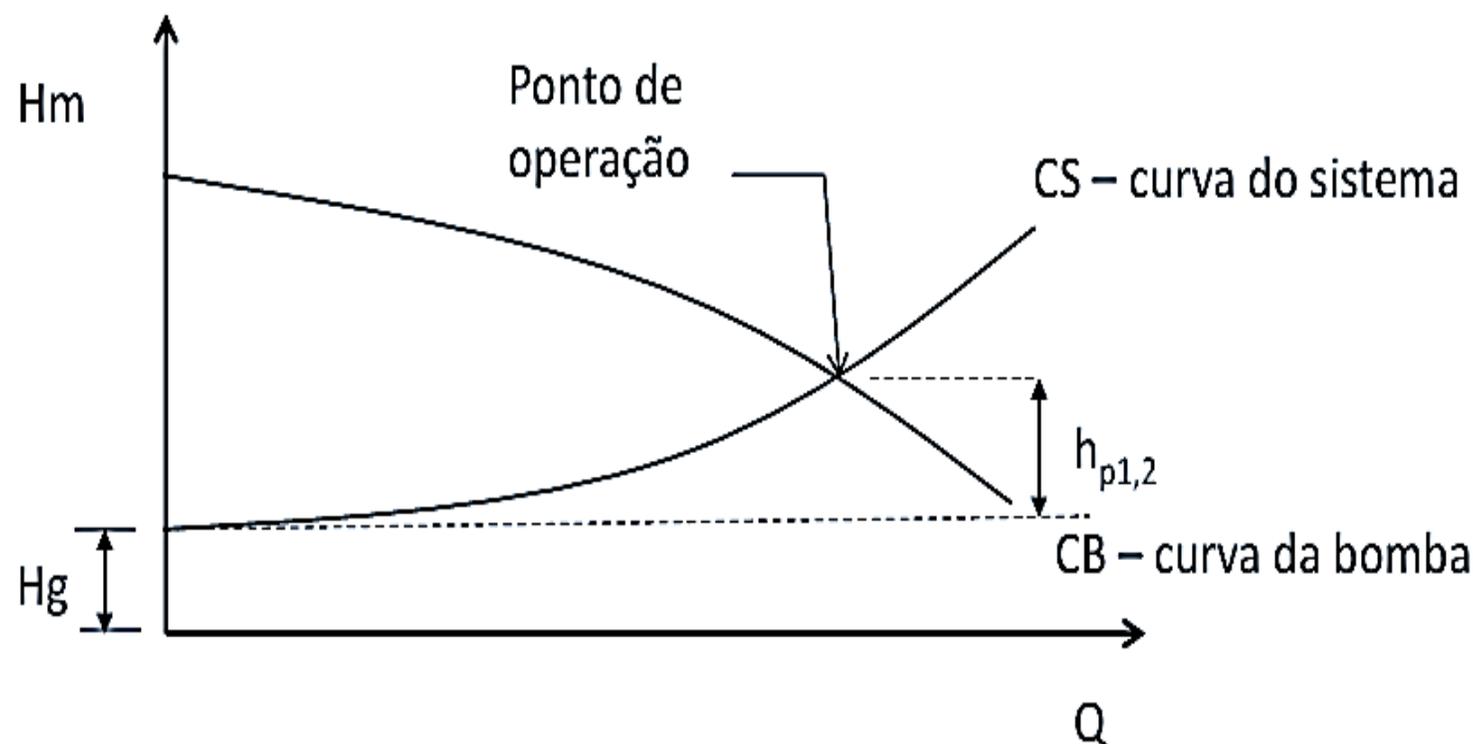
Variação da energia do sistema em função da vazão.



Quanto maior é a vazão de fluido, maior é a quantidade de energia (AMT) que a bomba deve fornecer ao fluido para vencer uma determinada trajetória.

Ponto de Operação





Curva característica da bomba versus curva do sistema de tubulação

Sendo:

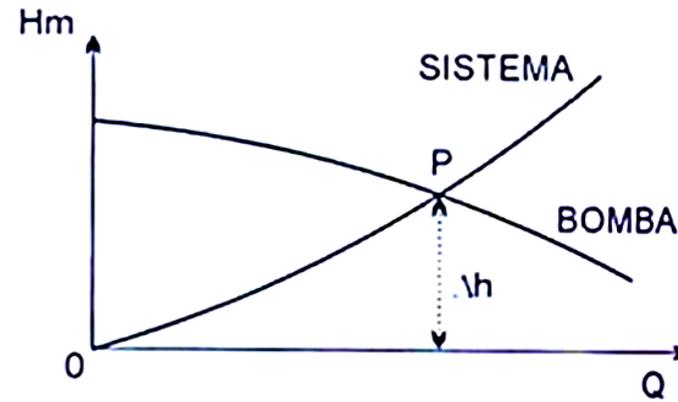
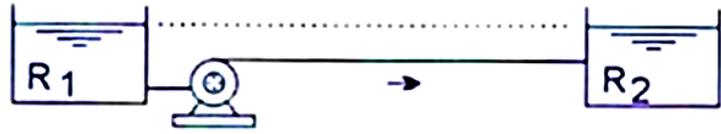
$$H_m = H_g + \Delta h_{p1,2}$$

H_m – altura manométrica;

H_g – altura geométrica;

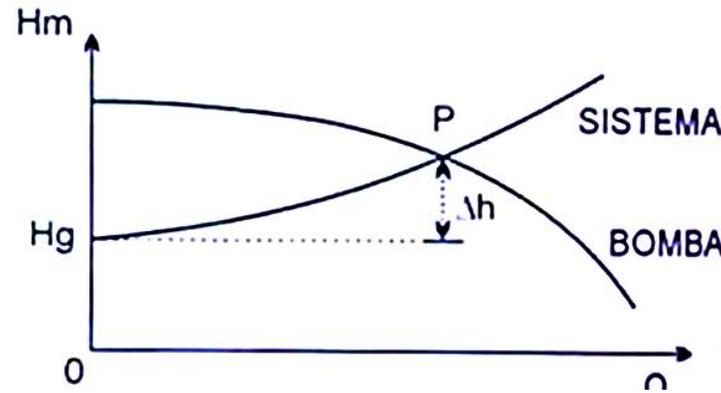
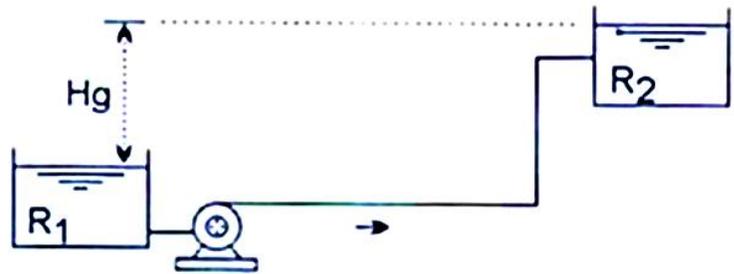
$\Delta h_{p1,2}$ – perda de carga total na tubulação.

SÓ PERDAS DE CARGA



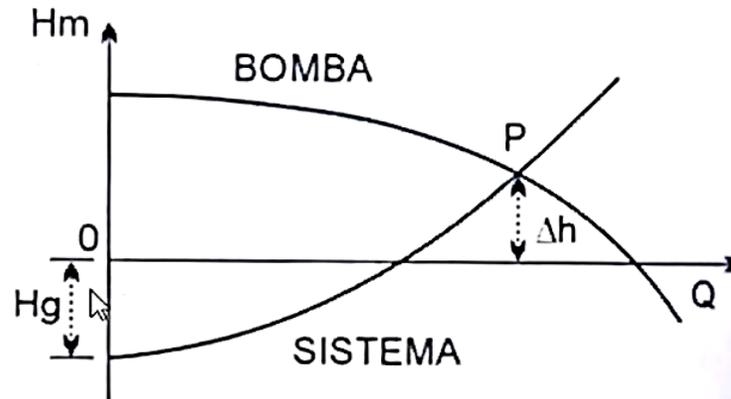
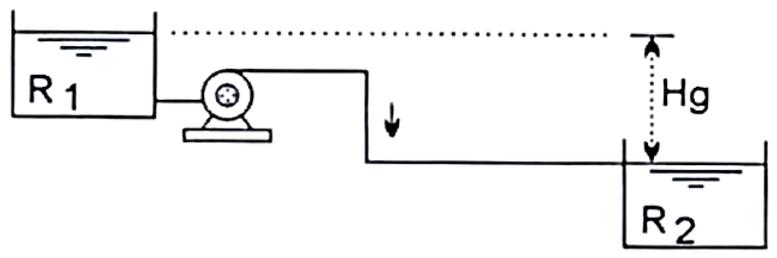
$$H_m = H_g + l_w$$

ALTURA GEOMÉTRICA + PERDAS DE CARGA



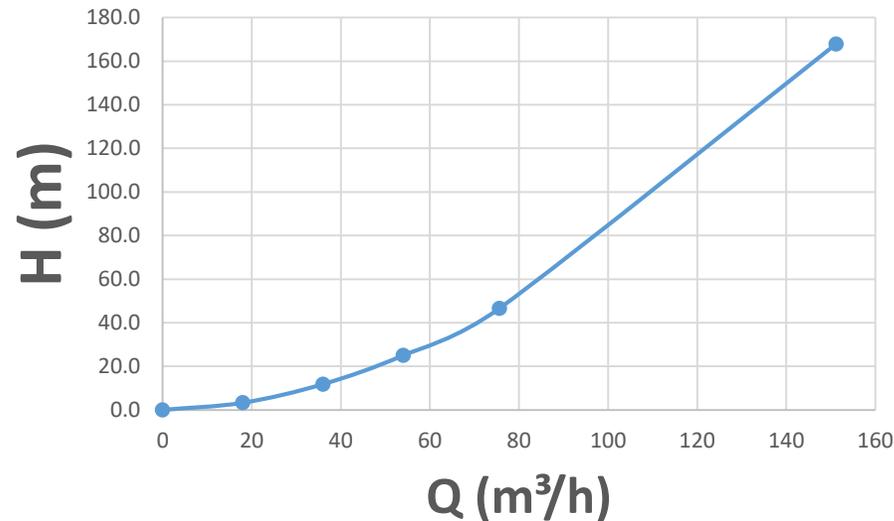
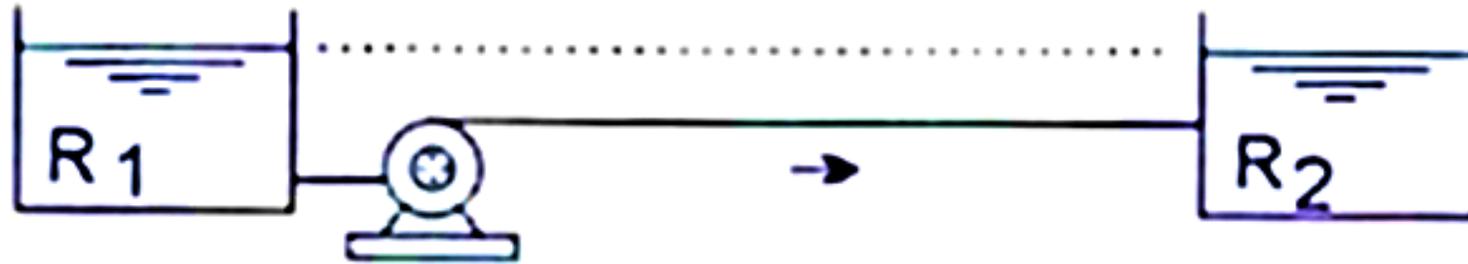
$$H_m = H_g + l_w$$

SISTEMA POR GRAVIDADE



$$H_m = H_g + l_w$$

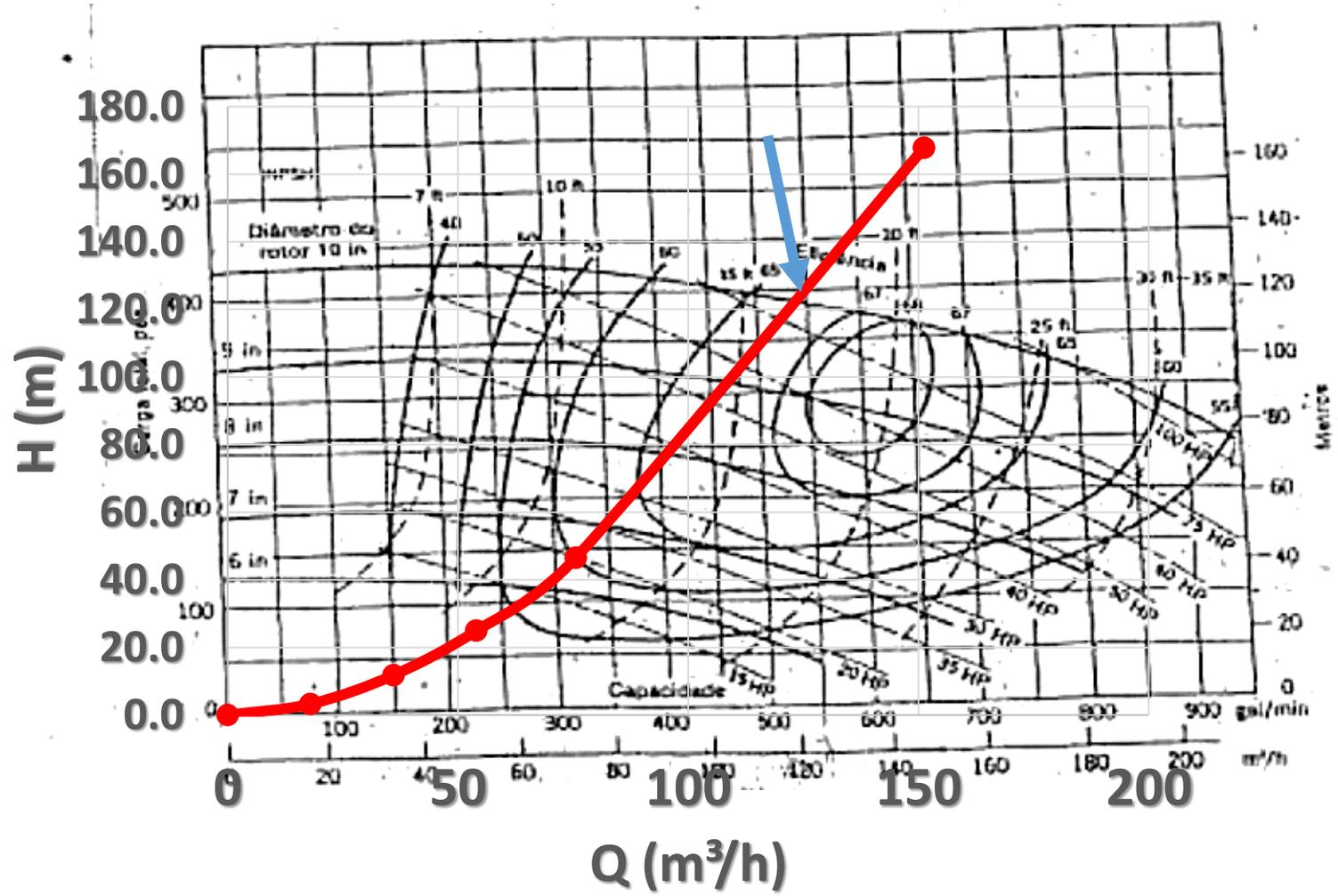
2) Traçar as curvas características de uma tubulação de PVC com diâmetro interno de 0,1 m para bombear água entre dois tanques abertos até a vazão máxima de 150 m³/h sendo a diferença de altura estática igual a zero e sabendo-se que o comprimento total das tubulações de sucção e descarga é de 700 m (utilize a equação de Hazen-Williams para o cálculo da perda de carga e despreze a perda localizada em acidentes).



$$h_{\text{fn}} = 10,643 \frac{L}{D^{4,87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85}$$

onde: h_f = perda de carga (m)
 L = comprimento da tubulação (m)
 Q = vazão volumétrica (m³/s)
 D = diâmetro interno do tubo (m)

3) Determine o ponto normal de trabalho para o exercício 2 no caso de se utilizar a bomba da Figura D.b (anexo), com rotor de 10 in.



Eficiência = 66%
Potência = 80 HP

Curva de uma bomba (fabricante)

