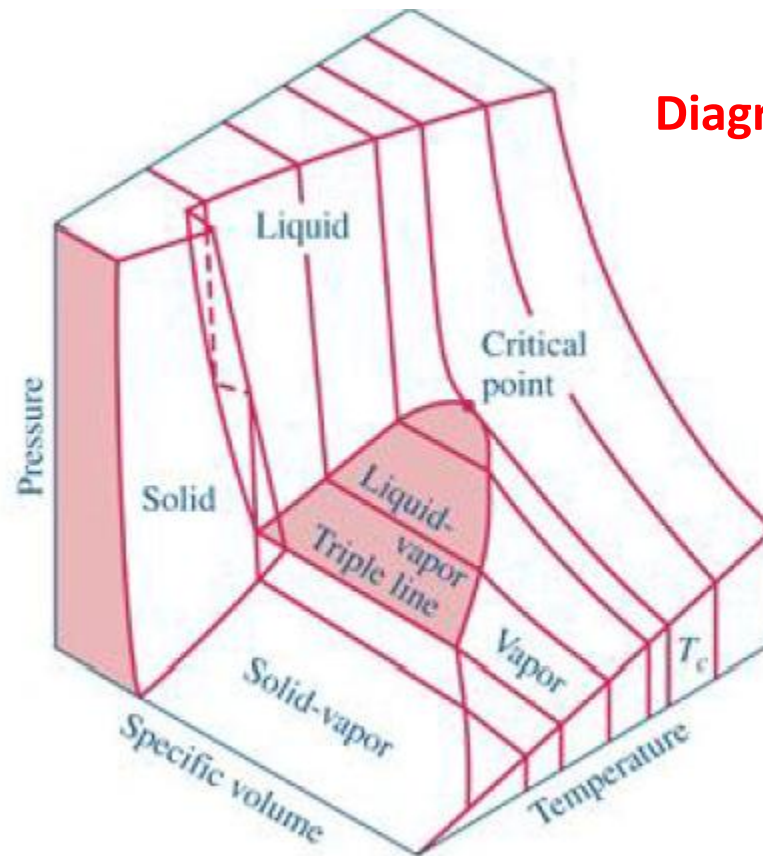


Aula 4

Capítulo II - Propriedades de uma substância pura (continuação)

Diagrama PVT



II. Propriedades de Substâncias Puras

Exercício 2 :

Determinação das propriedades termodinâmicas

Um conjunto cilindro-pistão contém inicialmente água a 3 MPa e 300 °C. A água é esfriada a volume constante a 200 °C, logo é comprimido isotermicamente até uma pressão final de 2.5 MPa. Fazer um esboço do processo em um diagrama Tv e encontrar o volume específico nos 3 estados.



- Solução:

Procurar o Estado 1 nas Tabelas termodinâmicas

- Tabela A-4 dados de saturação:
- $T = 300^{\circ}\text{C} \rightarrow P_{\text{sat}} = 8,581 \text{ Mpa}$
 - $V_l = 0,001404 \text{ m}^3/\text{kg}$
 - $V_v = 0,02167 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $T = 200^{\circ}\text{C} \rightarrow P_{\text{sat}} = 1,5538 \text{ Mpa}$
 - $V_l = 0,001157 \text{ m}^3/\text{kg}$
 - $V_v = 0,12736 \text{ m}^3/\text{kg}$

Mas a P do Estado 1 é de 3 MPa, logo vamos olhar a Tabela de Vapor Superaquecido:

Tabela A-6 (página A-10): Para 3MPa à 300°C tem-se:

$V = 0,08114 \text{ m}^3/\text{kg}$

II. Propriedades de Substâncias Puras

Estado 2: $v_2 = v_1 = 0.0811 \text{ m}^3/\text{kg}$ and $T_2 = 200^\circ\text{C}$.

Reconhecer que é uma mistura líquido-vapor

Pela comparação dos valores de volume específico na temperatura de saturação.

Cálculo do título: $v_2 = (1-x) v_l + x v_v$

$$X = 0,6338$$

II. Propriedades de Substâncias Puras

Estado 3: $P_3 = 2.5 \text{ MPa} = 25 \text{ bar}$ e $T_2 = T_3 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Reconhecer que o estado é de um líquido comprimido

Esta Tabela tem o valor de 2,5MPa

i) Localizar

$P_3 = 25 \text{ bar}$ e $T_3 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

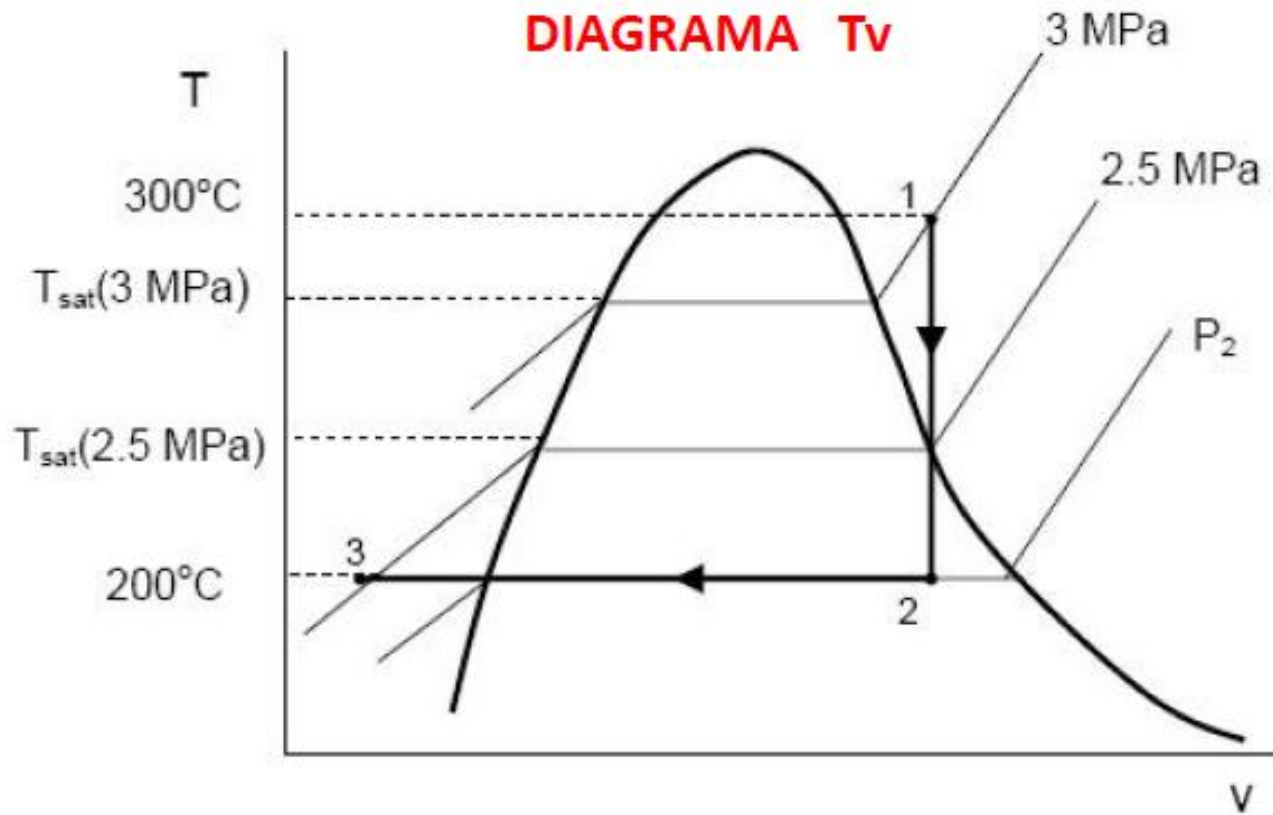
ii) Ler o valor de v .

$$v_3 = 1.1555 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Properties of Compressed Liquid Water

T $^\circ\text{C}$	$v \times 10^3$ m^3/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
$p = 25 \text{ bar} = 2.5 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 223.99^\circ\text{C}$)				
20	1.0006	83.80	86.30	.2961
40	1.0067	167.25	169.77	.5715
80	1.0280	334.29	336.86	1.0737
100	1.0423	418.24	420.85	1.3050
140	1.0784	587.82	590.52	1.7369
180	1.1261	761.16	763.97	2.1375
200	1.1555	849.9	852.8	2.3294
220	1.1898	940.7	943.7	2.5174
Sat.	1.1973	959.1	962.1	2.5546

II. Propriedades de Substâncias Puras



II. Propriedades de Substâncias Puras

EQUAÇÕES DE ESTADO

II. Propriedades de Substâncias Puras

EQUAÇÕES DE ESTADO

- São expressões analíticas que relacionam as propriedades volumétricas de um fluido da seguinte forma:

$$P = P(T, V, n_1, n_2, \dots)$$

$$V = V(T, P, n_1, n_2, \dots)$$

II. Propriedades de Substâncias Puras

EQUAÇÕES DE ESTADO (EDE)

- Equação corrigida do gás perfeito
- Equação do virial
- Equações cúbicas
- Equações não-cúbicas

II. Propriedades de Substâncias Puras

EDE – EQUAÇÃO CORRIGIDA DO GÁS PERFEITO

À temperatura constante

$$\lim_{P \rightarrow 0} (P.v) = R.T$$

onde v é o volume molar

II. Propriedades de Substâncias Puras

EDE – FATOR DE COMPRESSIBILIDADE

- Há uma outra forma de se determinar as propriedades de uma substância, que é usar o Fator de Compressibilidade (Z)
- Esse fator é expresso na forma gráfico para uma quantidade grande de substância.

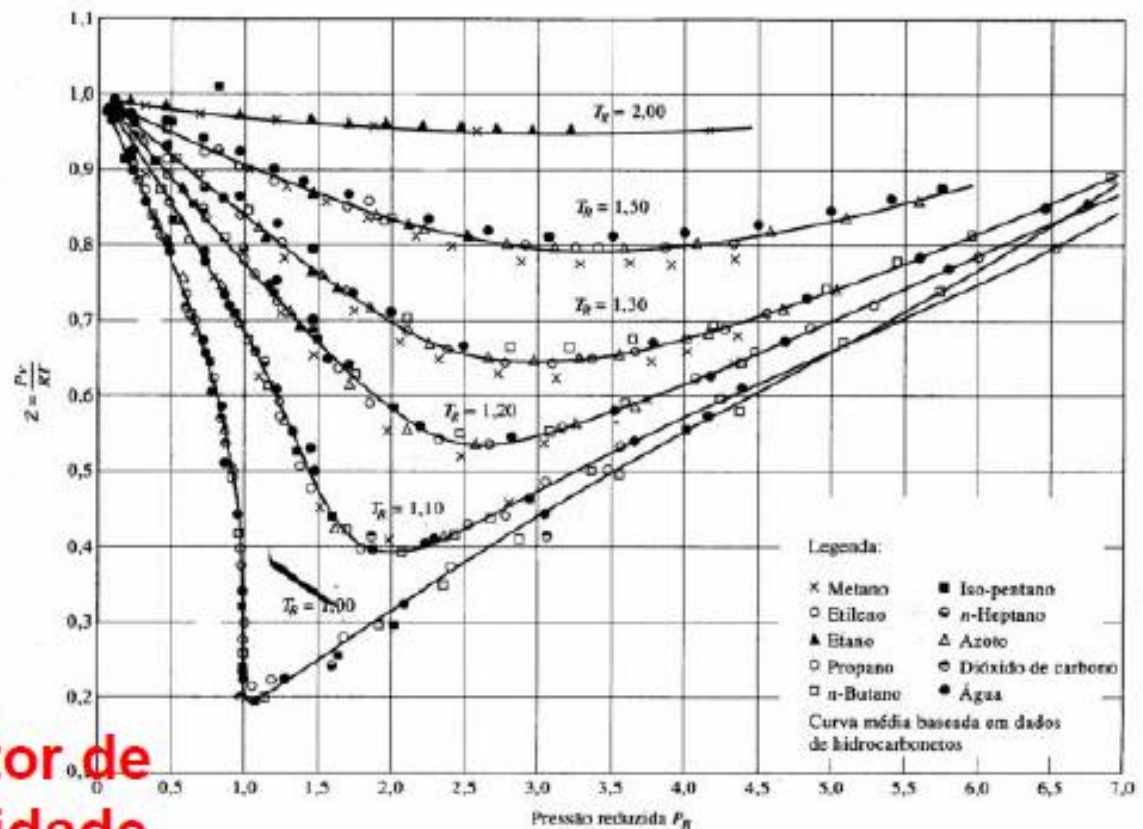
É NECESSÁRIO CONHECER P_R E T_R PARA DETERMINAR Z

$$P_R = \frac{P}{P_C}$$

$$T_R = \frac{T}{T_C}$$

II. Propriedades de Substâncias Puras

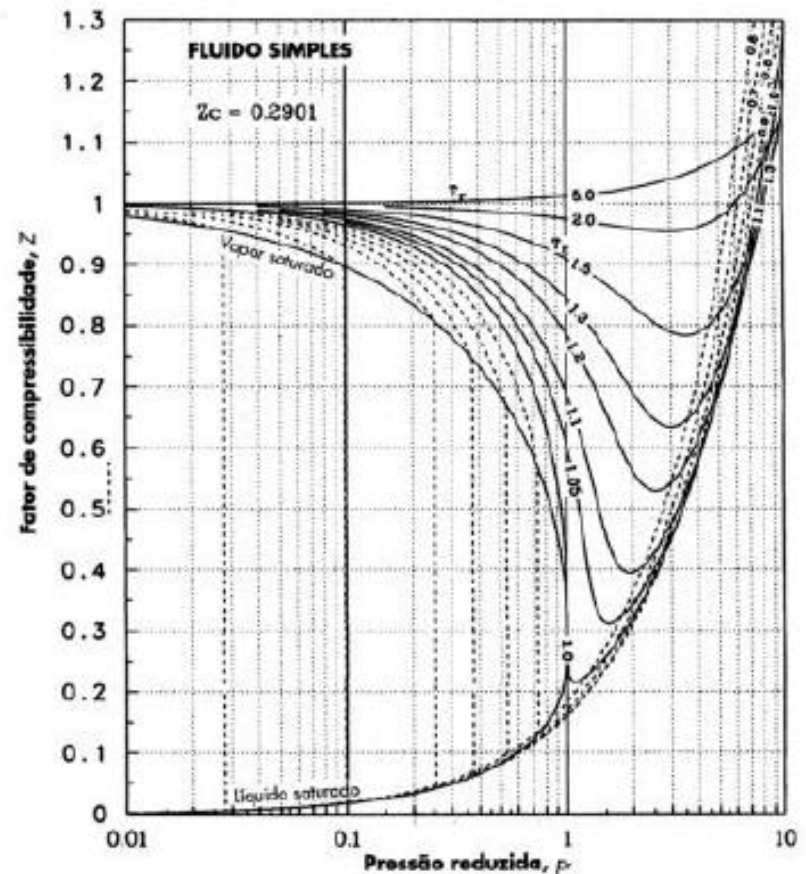
com Z calcula-se as propriedades como : $P_v = ZRT$



Fator de compressibilidade

II. Propriedades de Substâncias Puras

**Fator de compressibilidade –
Fluidos simples**



II. Propriedades de Substâncias Puras

OBSERVAÇÕES

- $Z = 1$ (Pressões baixas)
 - moléculas estão muito afastadas umas das outras,
 - não há forças intermoleculares,
 - O fluido se comporta como um gás ideal.
- $Z < 1$ (Pressões moderadamente altas)
 - as moléculas vão se aproximando umas das outras,
 - as forças de atração intermolecular tornam-se dominantes,
 - o volume diminui mais do que deveria diminuir se não houvesse forças de atração intermolecular.

A LEI DOS ESTADOS CORRESPONDENTES

A seguir são apresentadas as variáveis reduzidas de volume, pressão e temperatura:

$$V_R = \frac{V}{V_c} = \phi \qquad P_R = \frac{P}{P_c} = \pi \qquad T_R = \frac{T}{T_c} = \theta$$

Onde V_c , P_c e T_c são as variáveis críticas do gás e
 V , P e T são as condições em que o gás se encontra.

“Se dois gases diferentes tiverem as mesmas variáveis reduzidas significa que estão em estados correspondentes, logo possuem o mesmo fator de compressibilidade Z ”

$$\pi = \frac{8\theta}{3\phi - 1} - \frac{3}{\phi^2}$$

TERMODINÂMICA APLICADA - Profª. Dra. Marivone Nunho Sousa

LISTA 3 – FATOR DE COMPRESSIBILIDADE

1 – Considerando os dados críticos de cada uma das substâncias, nas condições de temperatura igual a 20°C e pressão de 1,0 MPa, é razoável admitir o comportamento de gás ideal?

- a) Nitrogênio
- b) Dióxido de carbono
- c) Amônia

Gás	T_c (K)	P_c (MPa)
N ₂	126,2	3,39
CO ₂	304,1	7,38
NH ₃	405,5	11,35

2 - A densidade do vapor de água a 327,6 atm e 776,4 K é 133,2 g/L. Sendo os dados críticos iguais a 647,4 K e 218,3 atm, calcule:

- a) O volume molar
- b) O fator de compressibilidade a partir dos dados experimentais ($PV = Z_nRT$)
- c) O fator de compressibilidade usando o Diagrama Generalizado de Compressibilidade
- d) Compare e comente os resultados dos valores de Z calculados nas letras b e c, em relação ao mais correto qual o erro dos outro?

3 - Experimentalmente foi determinado que 300g de amônia ocupa um volume de 28,5 L na temperatura de 75°C e pressão de 16,2 atm. Determine a pressão usando o DGC – Diagrama Generalizado de Compressibilidade empregando o fator de compressibilidade. Compare o valor de P calculado com o valor experimental.

Dados críticos: $T_c = 132,4$ °C $P_c = 111,5$ atm

4 - Calcule a temperatura na qual pode ser aquecido um recipiente de aço de 10 L que contém 100 mol de metano, 20 mol de etano que será testado a 150 atm. Use o DGC.

Para usar o DGC com misturas gasosas é necessário calcular primeiro os dados críticos da mistura gasosa:

$$P_c' = \sum x_i P_{c_i} \quad \text{e} \quad T_c = \sum x_i T_{c_i} \quad \text{e depois os valores de} \quad \pi' = \frac{P}{P_c} \quad \text{e} \quad \theta' = \frac{T}{T_c}$$

Sendo os dados críticos mostrados na tabela abaixo:

Gás	T_c (°C)	P_c (atm)
CH ₄	- 82,5	45,8
C ₂ H ₆	32,1	48,8

5 - Calcule a densidade da mistura gasosa de etano e propano mantida a 200°C e 93 atm. Use o DGC. Lembrando que os valores críticos de T e P são calculados com a composição em fração molar. E, que o massa molar média da mistura pode ser calculada $MM' = \sum x_i MM_i$

Gás	T_c (°C)	P_c (atm)	% massa
C ₂ H ₆	32,1	48,8	60
C ₃ H ₈	96,8	42,0	40

DGC – DIAGRAMA GENERALIZADO DE COMPRESSIBILIDADE

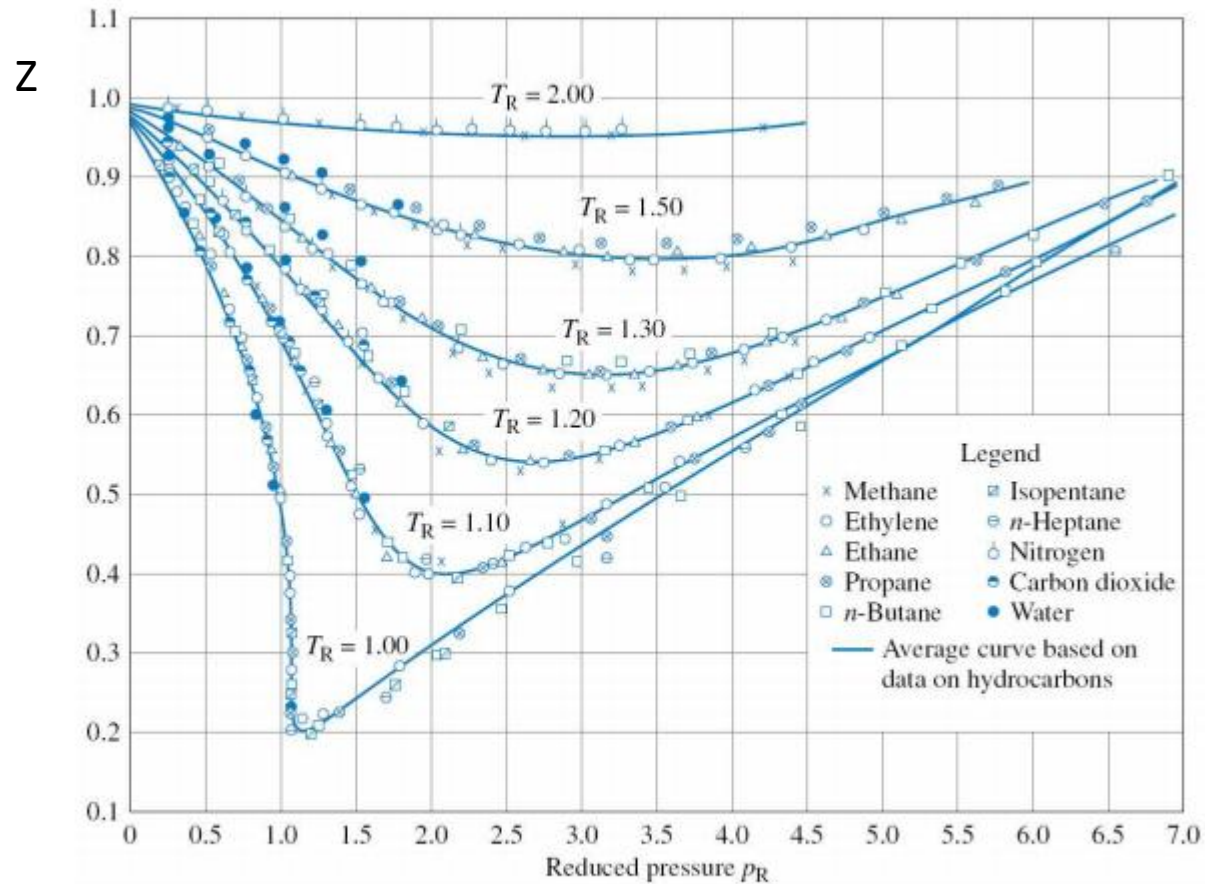


Figura 3.9: O diagrama generalizado de compressibilidade.

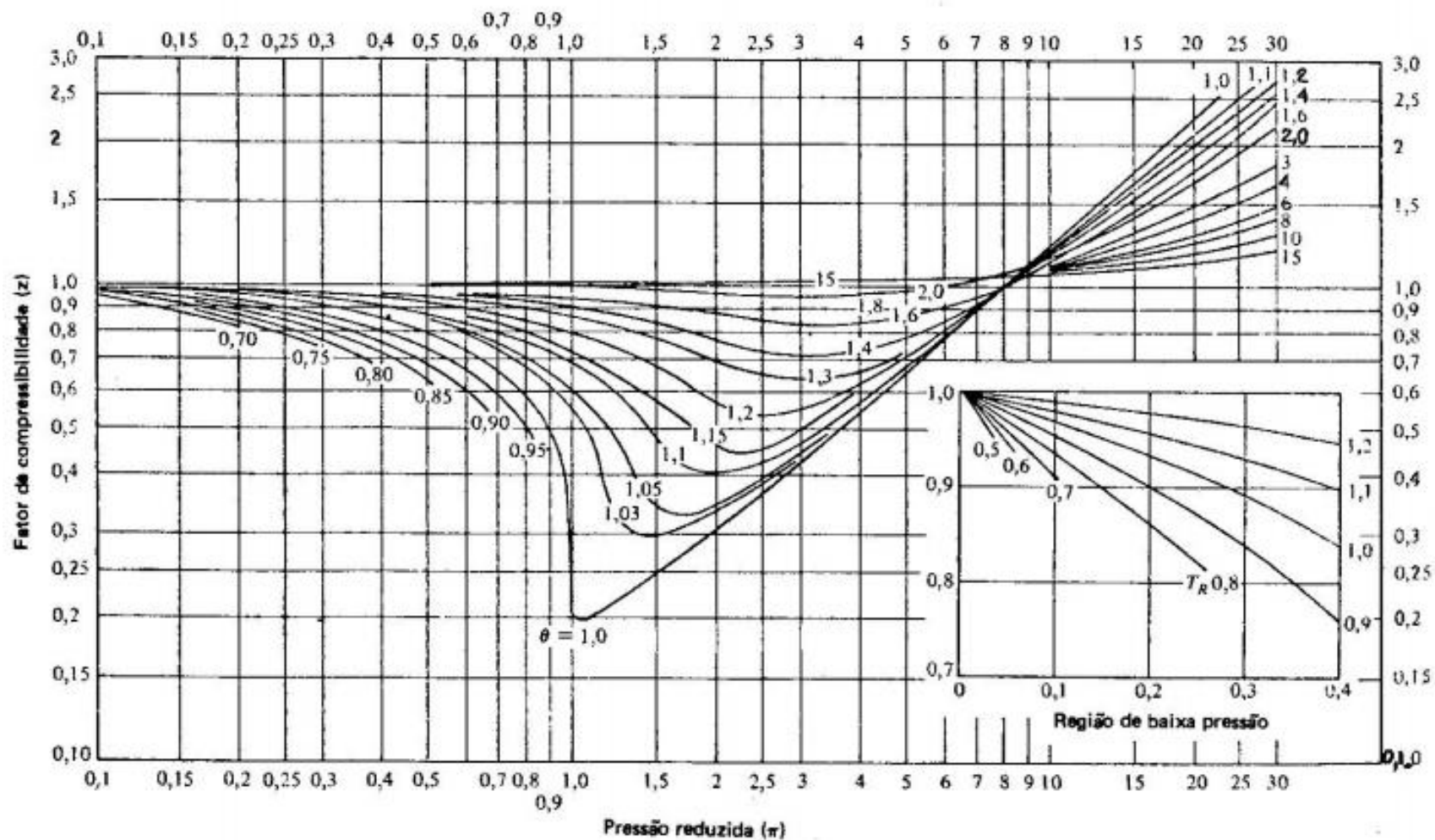


Fig. 3.16. Diagrama reduzido de compressibilidade $z(\pi, \theta)$ em escala logarítmica (Hougen e Watson, 1947).