

# PROPRIEDADES DE ÓLEO E GÁS

## ÓLEOS DE BAIXO ENCOLHIMENTO (BLACK OIL)

### DEFINIÇÕES:

- **Pseudo-Componente ÓLEO:** mistura de hidrocarbonetos que se encontra na fase líquida nas condições padrão;
- **Pseudo-Componente GÁS:** mistura de hidrocarbonetos que se encontra na fase gasosa nas condições padrão;
- **Fase ÓLEO:** mistura de hidrocarbonetos que se encontra na fase líquida na condição especificada;
- **Fase GÁS:** mistura de hidrocarbonetos que se encontra na fase gasosa na condição especificada.

### 1. Densidade Relativa ( $\gamma_o$ )

$$\gamma_o = \rho_o / \rho_w$$

### 2. Grau API ( $^{\circ}\text{API}$ )

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\gamma_o} - 131,5 \quad \text{ou} \quad \gamma_o = \frac{141,5}{^{\circ}\text{API} + 131,5}$$

$\gamma_o$  em condições padrão (standard conditions = 14,7 psia @ 60°F)

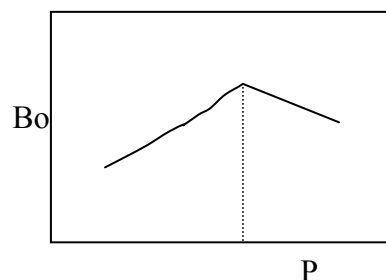
Exemplo:  $\rho_{osc} = 50 \text{ lb/cuft}$        $\rho_w = 62,4 \text{ lb/cuft}$

$$\gamma_o = \rho_o / \rho_w =$$

$$^{\circ}\text{API} =$$

3. **Fator Volume de Formação do Óleo (Bo):** pode ser definido como o volume da fase óleo (óleo + gás dissolvido) nas condições (P,T) dividido pelo volume de óleo nas condições padrão.

$$B_o = \frac{[V_{\text{Oleo+GasDissolvido}}]_{P,T}}{[V_{\text{Oleo}}]_{STD}}$$



Unidades  $\text{bbl}_{\text{RES}}/\text{STB}$  ou  $\text{m}^3_{\text{RES}}/\text{m}^3_{\text{STD}}$

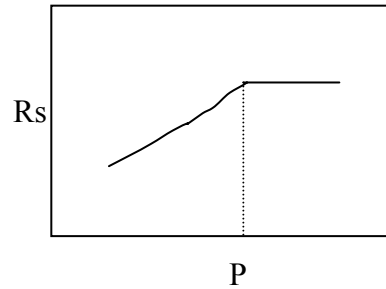
Ex.:  $V_o @ P_R, T_R = 400 \text{ cc}$   
 $V_o \text{ no tanque (std)} = 300 \text{ cc}$        $B_o =$

4. **Razão de Solubilidade (Rs) em uma certa condição (P,T):** é o volume de gás dissolvido na fase óleo, medido nas condições padrão, dividido pelo volume de óleo, medido nas condições padrão.

$$R_s = \frac{[V_{Gd}]_{std}}{[V_o]_{std}}$$

Unidades SCF/STB ou  $m^3_{STD}/m^3_{STD}$   
 Ex.:  $V_{gsc} = 1,5 \text{ cuft}$     $V_{osc} = 300 \text{ cc}$

$R_s =$

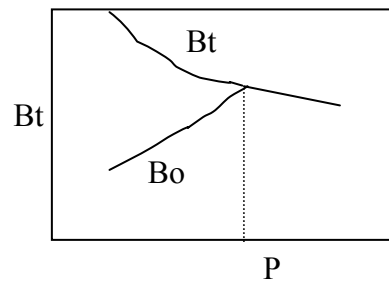


5. **Fator Volume de Formação Total (Bt)**

$$B_t = \frac{(V_{O+Gd} + V_{Gf}) @_{P,T}}{V_o @_{STD}}$$

$$B_t = B_o + B_g (R_{sb} - R_s)$$

Unidades:  $bbl_{RES}/STB$  ,  $m^3_{RES}/m^3_{STD}$



6. **Compressibilidade (Co)**

$$C_o = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

A) Para pressões maiores que a Pressão de Saturação:

$$C_o = -\frac{1}{B_o} \left( \frac{\partial B_o}{\partial P} \right)_T = \frac{1}{\rho_o} \left( \frac{\partial \rho_o}{\partial P} \right)_T = -\left( \frac{\partial (\ln B_o)}{\partial P} \right)_T$$

Integrando  $C_o$  entre as pressões  $P_1$  e  $P_2$  temos:

$$\int_{P_1}^{P_2} C_o dP = \int_{B_{o2}}^{B_{o1}} d(\ln B_o) \quad \text{logo,}$$

$$C_o(P_2 - P_1) = -\ln\left(\frac{B_{o2}}{B_{o1}}\right) = -\ln\left(\frac{V_2/V_1}{\rho_2/\rho_1}\right) = \ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

Ex.: Numa célula PVT com óleo, medimos:

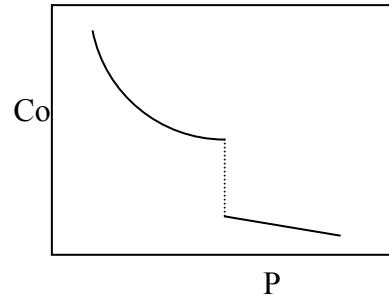
Vo1 = 60 cc @ 5000 psi e 220 F

Vo2 = 61 cc @ 4000 psi e 220 F

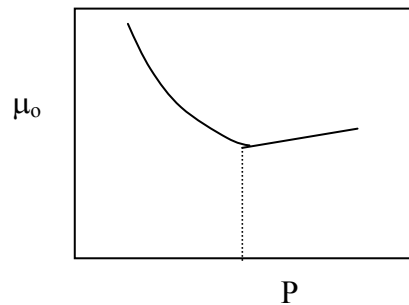
Calcule Co =

B) Para pressões menores que a Psat:

$$C_o = -\frac{1}{B_o} \left[ \left( \frac{\partial B_o}{\partial P} \right)_T - B_g \left( \frac{\partial R_s}{\partial P} \right)_T \right]$$



## 7. Viscosidade ( $\mu_o$ )



## DETERMINAÇÃO das PROPRIEDADES

1. Razão Gás-Óleo no tanque ( $R_{sT}$ )
2. Pressão de Bolha ou de Saturação (Bubble point)
3. Razão de Solubilidade ( $R_s$ )
4. Densidade do óleo na  $P_{sat}$  ou  $P_b$
5. Densidade do óleo acima da  $P_{sat}$  ou  $P_b$
6. Fator Volume de Formação do Óleo na  $P_{sat}$  ( $B_{ob}$ )
7.  $B_o$  acima da  $P_{sat}$
8. Fator Volume de Formação Total ( $B_t$ )
9. Compressibilidade do óleo acima da  $P_{sat}$
10. Compressibilidade do Óleo abaixo da  $P_{sat}$

11. Viscosidade do óleo abaixo da  $P_{sat}$

12. Viscosidade do Óleo acima da  $P_{sat}$

# PROPRIEDADES DOS GASES

## 1. N° de Moles (n)

$$n = \sum_{i=1}^m n_i \quad n_i = \text{número de moles do componente } i$$

## 2. Fração Molar do componente i (y<sub>i</sub>)

$$y_i = \frac{n_i}{\sum n_i} = \frac{n_i}{n}$$

## 3. Peso Molecular da mistura

$$PM_g = \sum y_i PM_i$$

## 4. Lei dos Gases Ideais

$$PV = nRT$$

onde

- P = pressão (psia)
- V = volume (ft<sup>3</sup>)
- n = número de moles
- T = temperatura (°R)
- R = constante universal dos gases
- R = 10,732 psia.ft<sup>3</sup>/mollb.°R
- Obs: °R = °F + 460,15

## 5. Lei dos Gases Reais

$$PV = znRT$$

z = fator de compressibilidade do gás

## 6. Densidade (ρ<sub>g</sub>)

$$\rho_g = \frac{m_g}{V_g}$$

Para calcular a densidade de um gás a uma certa pressão P e temperatura T, precisamos utilizar a lei dos gases reais:

$PV = znRT$  como sabemos que  $n = \frac{m_g}{PM_g}$  obtemos a expressão para a densidade:

$$\rho_g = \frac{m_g}{V} = \frac{P \cdot PM_g}{zRT}$$

Usando unidades inglesas, a densidade fica em  $\text{lb/ft}^3$ . Para obtermos a densidade em  $\text{g/cm}^3$  utilizamos a conversão:

$$1 \text{ g/cm}^3 = 62,4 \text{ lb/ft}^3$$

Exemplo: determinar a densidade de um gás de peso molecular 42 lb.mol a uma temperatura de 150 F e pressão 4000 psia, sendo  $z = 0,85$ .

$$\rho_g =$$

### 7. Densidade Relativa ao Ar ( $\gamma_g$ ), ou Specific Gravity (sg)

$$\gamma_g = \frac{\rho_{gSC}}{\rho_{arSC}} = \frac{PM_g}{PM_{ar}} = \frac{PM_g}{28,96} \quad (\text{deduzir a equação})$$

### 8. Pressão Pseudo-Crítica (Ppc)

A pressão pseudo-crítica pode ser calculada usando a composição do gás:

$$P_{pc} = \sum y_i \cdot Pc_i$$

onde  $y_i$  é a fração molar do componente  $i$   
 $Pc_i$  é a pressão crítica do componente  $i$  (tabela A.1 em anexo)

Se tivermos  $\gamma_g$  podemos usar o gráfico da figura G1 (17) em anexo.

### 9. Temperatura Pseudo-Crítica (Tpc)

Se tivermos a composição do gás,  $T_{pc} = \sum y_i \cdot Tc_i$

Se tivermos  $\gamma_g$  podemos usar o gráfico da figura G1 (17) em anexo.

### 10. Pressão Pseudo-Reduzida (Ppr)

$P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}}$  onde P é a pressão do gás.

## 11. Temperatura Pseudo-Reduzida (T<sub>pr</sub>)

$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} \text{ onde } T \text{ é a temperatura do gás.}$$

## 12. Fator de Compressibilidade do Gás (z)

Pela “Lei dos Estados Correspondentes”, o fator z pode ser obtido a partir da pressão pseudo-reduzida e da temperatura pseudo-reduzida utilizando-se a figura G2 (15) em anexo.

Caso a composição do gás a ser analisado apresente o “pseudo-componente” heptano+, ou C7+, as propriedades críticas podem ser estimadas utilizando-se os gráficos da figura G3 (3.10) em anexo.

Se o gás em questão apresentar teores consideráveis de H<sub>2</sub>S e de CO<sub>2</sub>, as propriedades críticas devem ser corrigidas utilizando-se o fator de correção “ε” obtido pela figura G4 (3.12) em anexo, da seguinte forma:

$$T'_{pc} = T_{pc} - \varepsilon \quad \text{e} \quad P'_{pc} = \frac{P_{pc} \cdot T'_{pc}}{T_{pc} + y_{H_2S}(1 - y_{H_2S})\varepsilon} \quad \text{onde:}$$

$T'_{pc}$  é a temperatura pseudo-crítica corrigida  
 $P'_{pc}$  é a pressão pseudo-crítica corrigida  
 $\varepsilon$  é o fator de correção obtido pela figura 3.12  
 $y_{H_2S}$  é a fração molar de H<sub>2</sub>S no gás considerado.

## 13. Viscosidade (μ<sub>g</sub>)

$$\mu_g = \mu_{g1} \frac{\mu_g}{\mu_{g1}} \quad \text{onde}$$

$\mu_{g1}$  é a viscosidade do gás na pressão atmosférica (cp)  
 $\mu_g/\mu_{g1}$  é a relação entre a viscosidade em condições de reservatório e a viscosidade a 1 atm (14,7 psia)

Existem duas maneiras de se determinar  $\mu_{g1}$ :

a) A partir da composição do gás, utilizando-se a figura 6.7 anexa:

$$\mu_{g1} = \frac{\sum \mu_{gi} y_i (PM_i)^{1/2}}{\sum y_i (PM_i)^{1/2}}$$

b) A partir do peso molecular do gás, da temperatura, e das frações molares de H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, utilizando-se a figura G5 (6.8) anexa:

$$\mu_{g1} = \mu_{g1}(\text{n\~{a}o corrigido}) + (\text{soma das corre\~{c}o\~{e}s devido a H}_2\text{S, N}_2, \text{CO}_2)$$

A determina\~{c}\~{a}o de  $\mu_g / \mu_{g1}$  \~{e} obtida a partir dos gr\~{a}ficos das figuras G6a e G6b (6.9 e 6.10) em anexo

#### 14. Compressibilidade ( $c_g$ )

$$c_g = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \quad \text{Utilizando-se a lei dos gases reais, obtemos:}$$

$$c_g = \frac{1}{P} - \frac{1}{z} \left( \frac{\partial z}{\partial P} \right)_T \quad \text{e se o g\~{a}s se comporta com um g\~{a}s ideal resulta em}$$

$$c_g = \frac{1}{P}$$

Para o g\~{a}s real precisamos estimar  $z$  e sua derivada em rela\~{c}\~{a}o \~{a} press\~{a}o nas condi\~{c}\~{o}es de press\~{a}o e temperatura consideradas.

Uma outra maneira de se determinar  $c_g$  \~{e} por interm\~{e}dio do gr\~{a}fico mostrado na figura 6.4 em anexo, que nos fornece o produto da compressibilidade pseudo-reduzida  $c_{pr}$  pela temperatura pseudo-reduzida  $T_{pr}$ . A compressibilidade \~{e} ent\~{a}o calculada por:

$$c_g = \frac{c_{pr}}{P_{pc}} = \frac{(c_{pr} T_{pr})}{T_{pr} P_{pc}}$$

#### 15. Fator Volume de Forma\~{c}\~{a}o do G\~{a}s ( $B_g$ )

$B_g$  \~{e} definido como a rela\~{c}\~{a}o entre o volume do g\~{a}s em condi\~{c}\~{o}es de reservat\~{o}rio e o volume do mesmo g\~{a}s em condi\~{c}\~{o}es padr\~{a}o (14,7 psia e 60 °F)

$$B_g = \frac{V_{gRES}}{V_{gSTD}} \quad \text{utilizando a lei dos gases reais obtemos a rela\~{c}\~{a}o:}$$

$$B_g = 0,0283 \frac{z_R T_R}{P_R} \quad (\text{ft}^3_{RES}/\text{ft}^3_{STD}) \quad \text{ou} \quad (\text{m}^3_{RES}/\text{m}^3_{STD})$$

Obs: derive a equa\~{c}\~{a}o acima



### 16. Exercício 1:

Calcule, para o gás cuja composição é dada abaixo,  $PM_g$ ,  $\gamma_g$ ,  $z$ ,  $B_g$ ,  $\mu_g$  e  $c_g$ . As condições de reservatório são: 2500 psia e 150 °F.

Obs.:  $PM_{c7+} = 142 \text{ lb/lb.mol}$  e  $\gamma_{c7+} = 0,807$

1	2	3	4	5	6	7	8
Comp.	$Y_i$	$PM_i$	$Y_i \cdot PM_i$	$Pc_i$	$Y_i \cdot Pc_i$	$Tc_i$	$Y_i \cdot Tc_i$
H <sub>2</sub> S	0,0491						
CO <sub>2</sub>	0,1101						
N <sub>2</sub>	0,0051						
C <sub>1</sub>	0,5770						
C <sub>2</sub>	0,0722						
C <sub>3</sub>	0,0445						
C <sub>4</sub>	0,0291						
C <sub>5</sub>	0,0149						
C <sub>6</sub>	0,0145						
C <sub>7+</sub>	0,0835						
$\Sigma$							

17.

18.