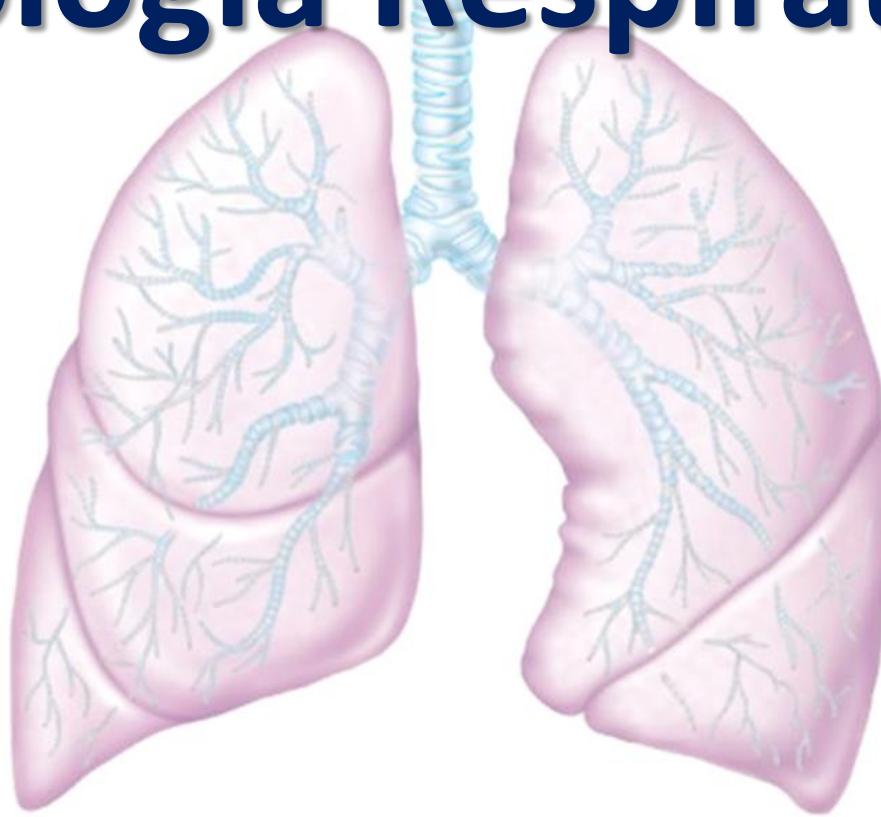


# Fisiologia Respiratória



**Luiz Guilherme S. Branco**

**FORP/USP**

**2020**



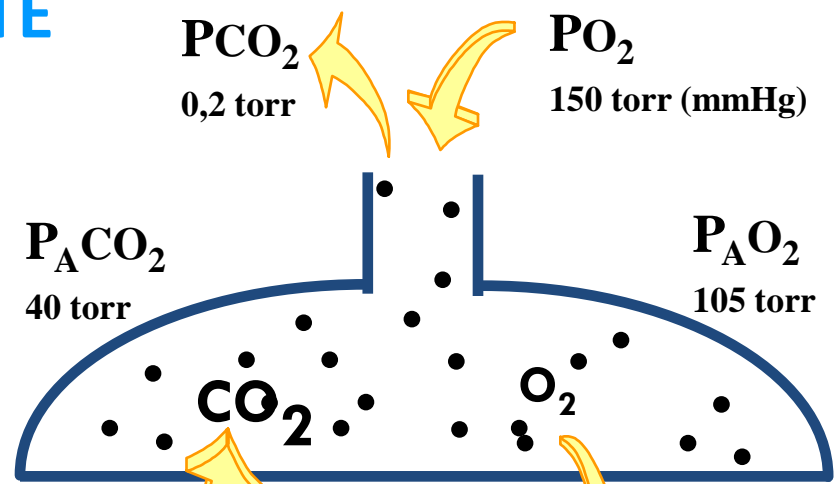
# **TRANSPORTE DOS GASES NO SANGUE**

**Como são transportados o  $O_2$  e o  $CO_2$ ?**

**Qual a relação entre o transporte de  $CO_2$  e a manutenção do equilíbrio ácido-base?**

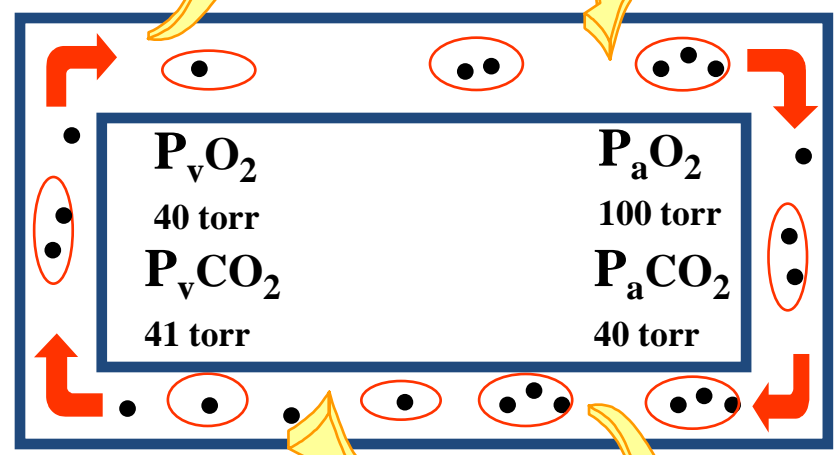
# PASSOS NO TRANSPORTE DE GASES:

1. Ventilação (convecção)



Pulmões

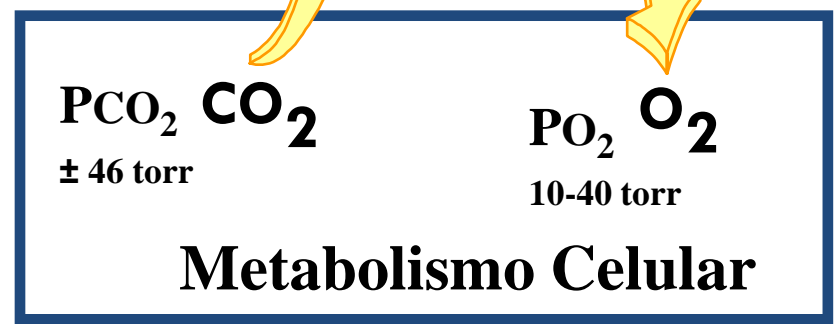
2. Difusão



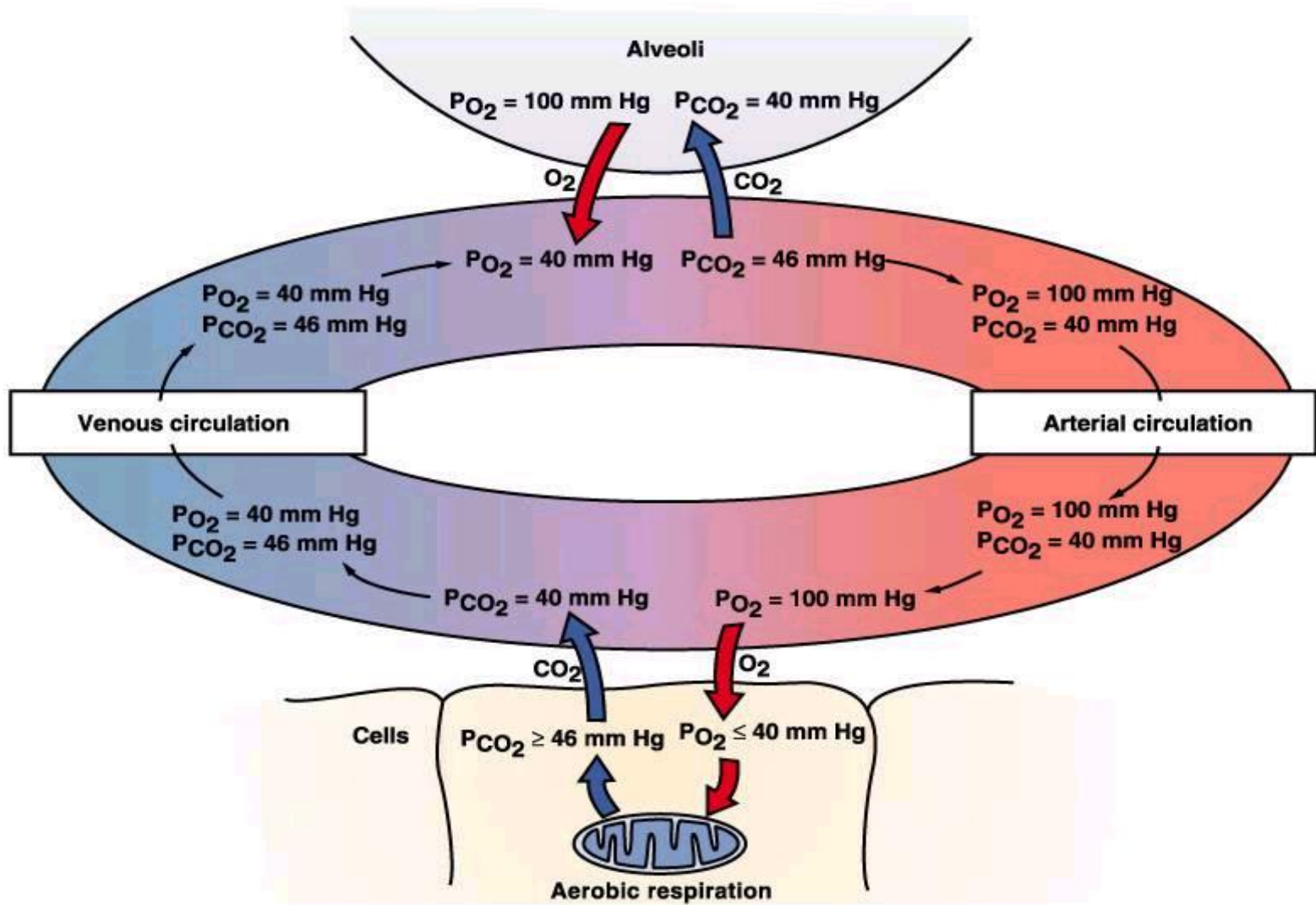
Sangue

3. Circulação (convecção)

4. Difusão



Tecidos

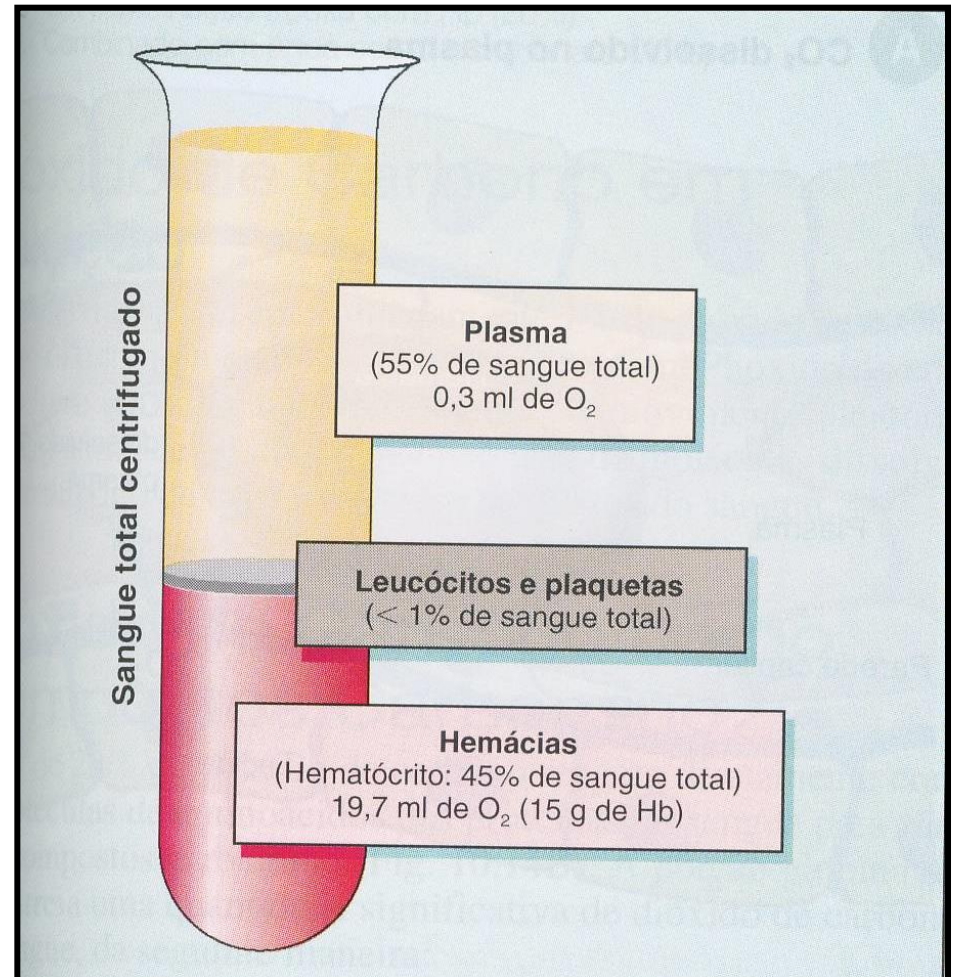


An anatomical model of the human respiratory system is centered on a black background. The model shows two lungs with a complex, branching network of bronchi and capillaries, colored in shades of red and orange. In the center, between the lungs, is a red heart. A clear glass vial containing a yellow liquid is positioned in front of the heart, partially overlapping the lung model. The text "TRANSPORTE DE OXIGÊNIO NO SANGUE" is overlaid in white, bold, sans-serif font across the middle of the image.

**TRANSPORTE DE OXIGÊNIO  
NO SANGUE**

# TRANSPORTE DE OXIGÊNIO (O<sub>2</sub>)

1. Dissolvido no plasma (3%)
2. Combinação com a hemoglobina (97%)



# Dissolvido no Plasma

## LEI DE HENRY

O número de moléculas dissolvidas em um líquido é diretamente proporcional à pressão parcial do gás na superfície do líquido.

**1 mmHg de  $PO_2 \rightarrow 0,003$  ml  $O_2$ /100ml de sangue (0,003 vol %)**

**100 mmHg de  $PO_2 \rightarrow 0,3$  ml  $O_2$ /100ml de sangue (0,3 vol %)**

**40 mmHg de  $PO_2 \rightarrow 0,12$  ml  $O_2$ /100ml de sangue**

## 1. Dissolvido no plasma (3%)

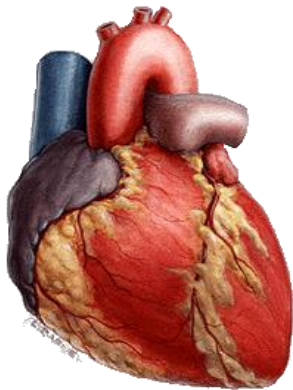
**Necessidade Tecidual  
(repouso)**

**300 ml O<sub>2</sub>/min**

**DC= 30 litros/min**

**30 x 3= 90ml de O<sub>2</sub> /min**

**No exercício a demanda  
pode chegar a  
3000ml/min.**



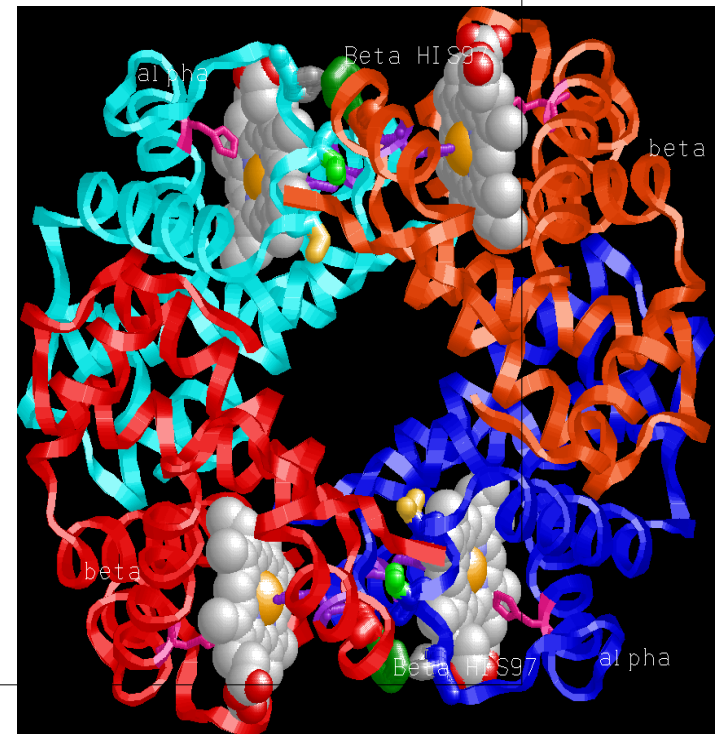


# Combinado com a Hemoglobina (97%)

**HEMÁCIA**

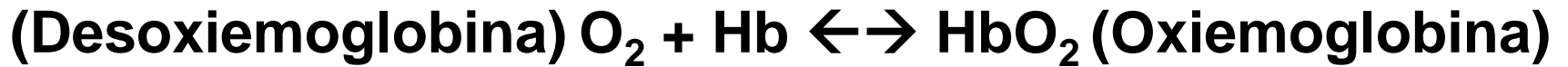



**HEMOGLOBINA (Hb)**



**Tipos de Hb: adulto – A, F, S, metemoglobina, etc.**

# Combinado com a Hemoglobina (97%)



1 gr Hb  1,39 ml O<sub>2</sub>

**Homens**

15 gr/100ml Sg  20,4 mlO<sub>2</sub>/100ml Sg

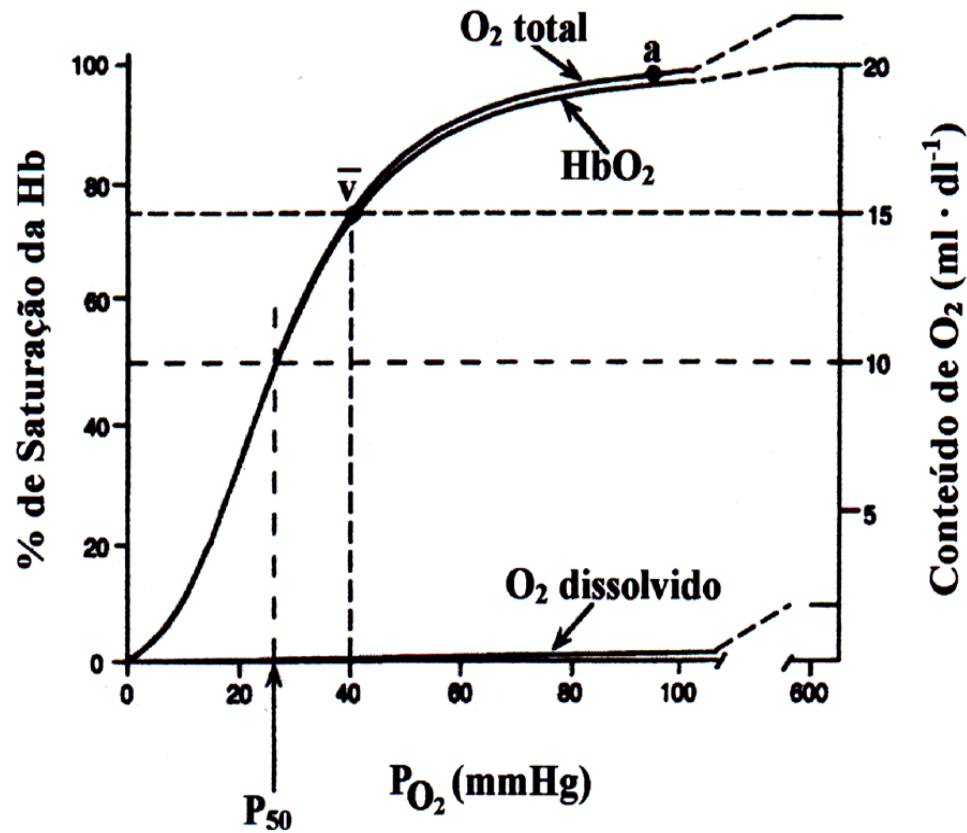
**Mulheres**

13 gr/100ml Sg  17,4 mlO<sub>2</sub>/100ml Sg



**HbO<sub>2</sub>: aumenta a afinidade  
ao O<sub>2</sub> dos sítios heme  
restantes**

# Curva de dissociação do O<sub>2</sub>



Hastlala (1996)

**Saturação de O<sub>2</sub>** da Hemoglobina é a porcentagem de ligação do O<sub>2</sub> com locais disponíveis na Hb.

$$\frac{\text{O}_2 \text{ combinado com a Hb} \times 100}{\text{Capacidade de O}_2}$$

**PaO<sub>2</sub> 100 mmHg → 97,5% Saturação**

**PvO<sub>2</sub> 40 mm Hg → 75% Saturação**

# 1. Anemia e Policitemia

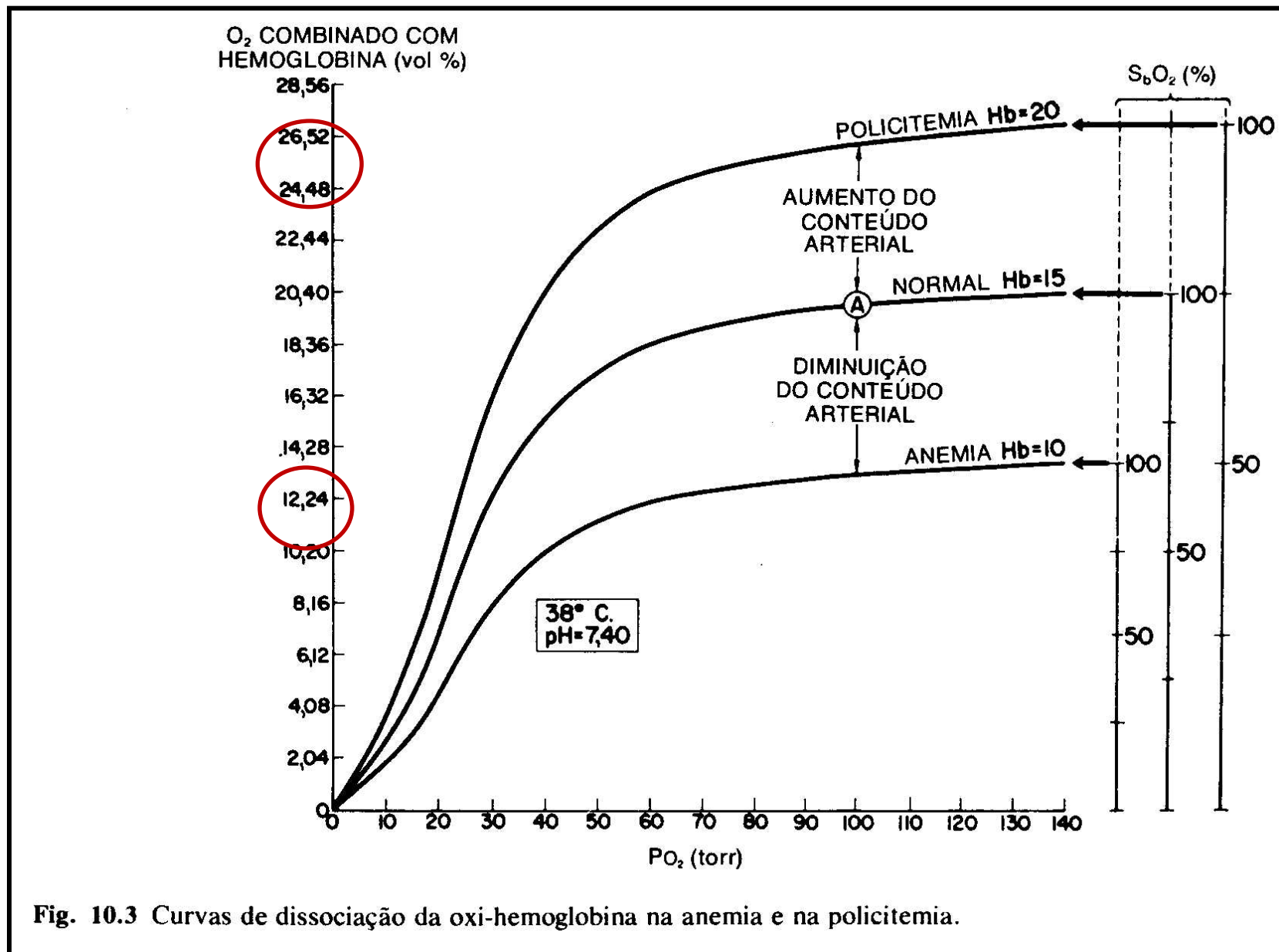
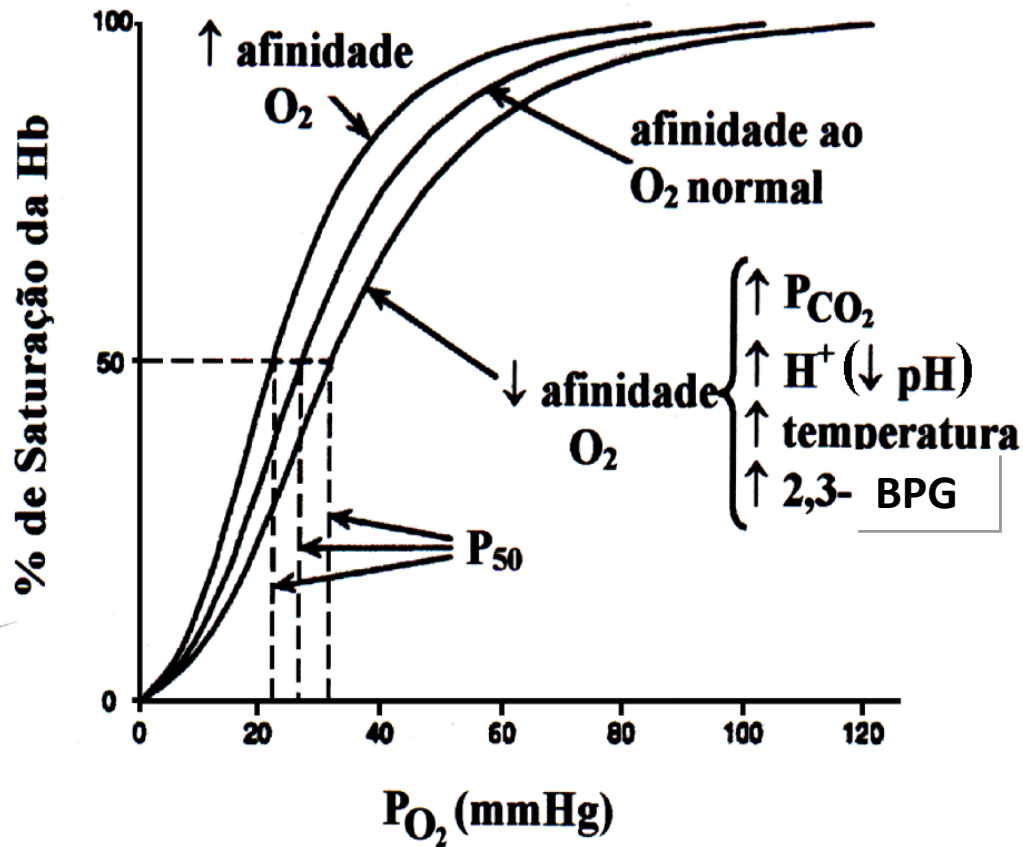


Fig. 10.3 Curvas de dissociação da oxi-hemoglobina na anemia e na policitemia.

**P<sub>50</sub>**

# Afinidade HbO<sub>2</sub>



↑ CO<sub>2</sub>  
ÁCIDO  
QUENTE

Hastlala, 1996

# FATORES QUE DESLOCAM A CURVA DE DISSOCIAÇÃO DA HEMOGLOBINA

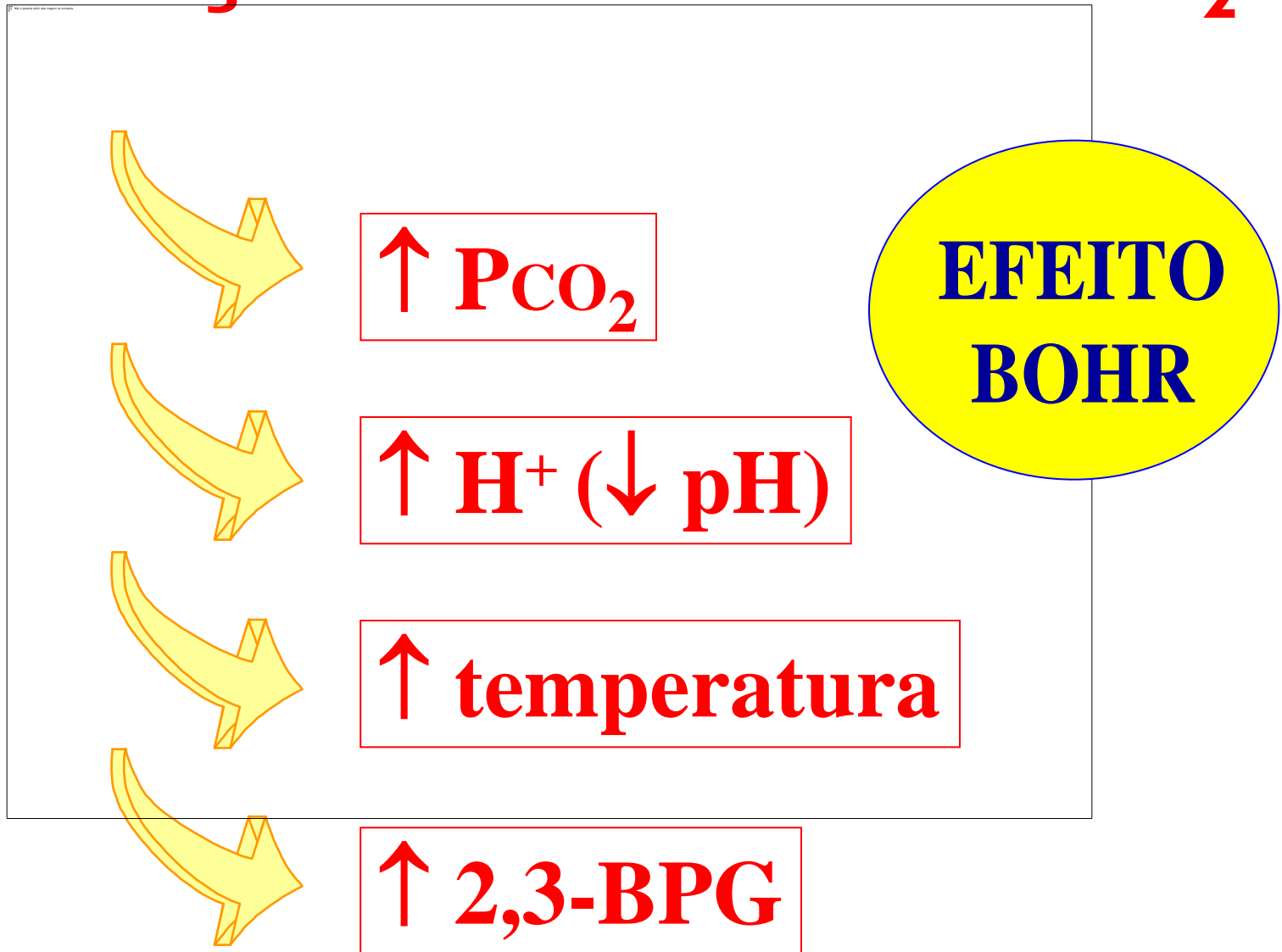
1. TEMPERATURA

2. CONCENTRAÇÃO DE HIDROGÊNIO E PRESSÃO PARCIAL DE DIÓXIDO DE CARBONO

3. CONCENTRAÇÃO DE 2,3-BIFOSFOGLICERATO (2,3-BPG)

\* O desvio da curva para direita reflete maior oferta de  $O_2$  para os tecidos, já o desvio para esquerda aumenta o carregamento do  $O_2$  pela Hb.

# Diminuição da afinidade HbO<sub>2</sub>





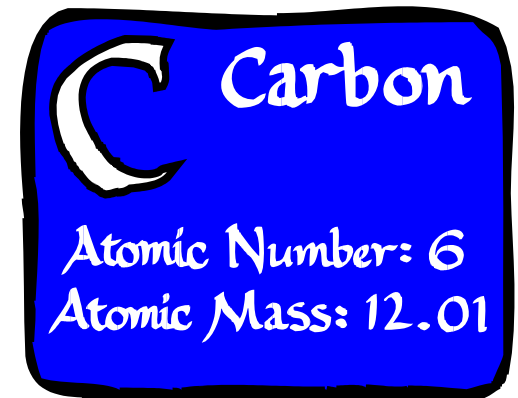


**TRANSPORTE DE CO<sub>2</sub>  
NO SANGUE**

# TRANSPORTE DE GÁS CARBÔNICO (CO<sub>2</sub>)

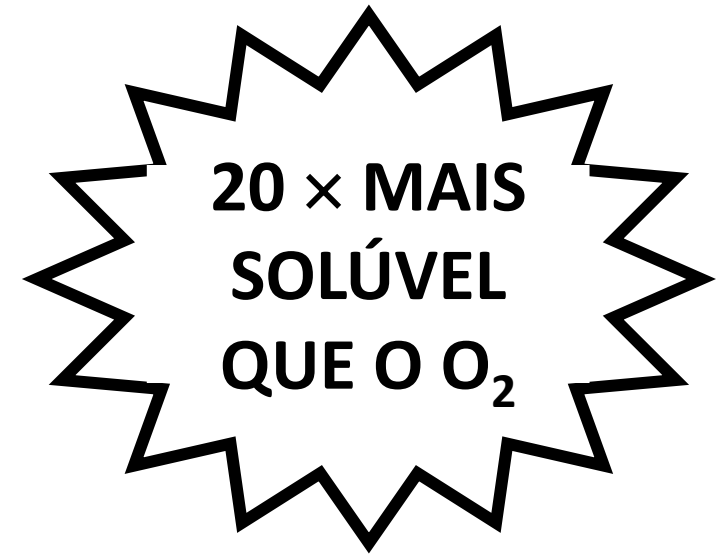
## FORMAS:

- ◆ DISSOLVIDO;
- ◆ BICARBONATO;
- ◆ LIGADO A PROTEÍNAS  
(CARBAMINO)



**Proteína mais comum: Hb**

# Dissolvido



- **10% do conteúdo total ;**
- **Pressão de 40 mmHg: 2,4 ml de CO<sub>2</sub> dissolvidos (100ml de sangue arterial);**
- **Pressão de 45 mmHg: 2,7 ml de CO<sub>2</sub> dissolvidos (100ml de sangue venoso);**

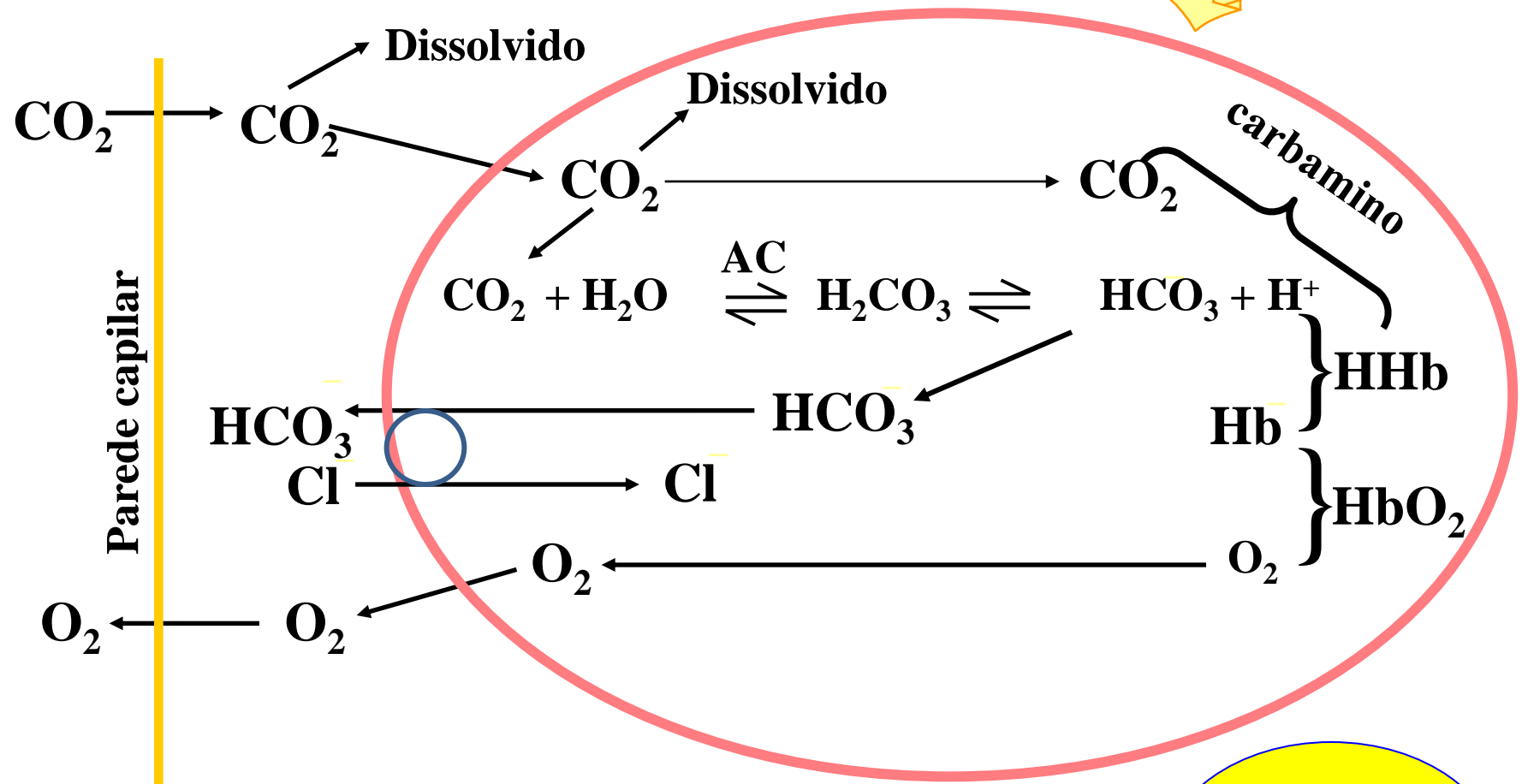
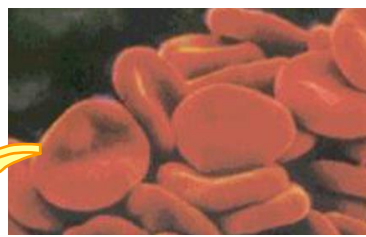
# Íons Bicarbonato

- **70% do total de  $\text{CO}_2$  transportado;**
- **$\text{CO}_2$  sangue reage com  $\text{H}_2\text{O}$ ;**
- **Eritrócitos: anidrase carbônica catalisa a reação de dióxido de carbono com a água**

# Combinado com Hemoglobina e Proteínas Plasmáticas

- **23% do conteúdo total ;**
- **associados com grupamentos aminas terminais;**
- **Amino da Hb;**
- **ligação frouxa: CO<sub>2</sub> liberado nos alvéolos.**

**HEMÁCIA**



**EFEITO HALDANE**

# **REGULAÇÃO DO EQUILÍBRIO ÁCIDO-BASE**

# Equilíbrio ácido-básico

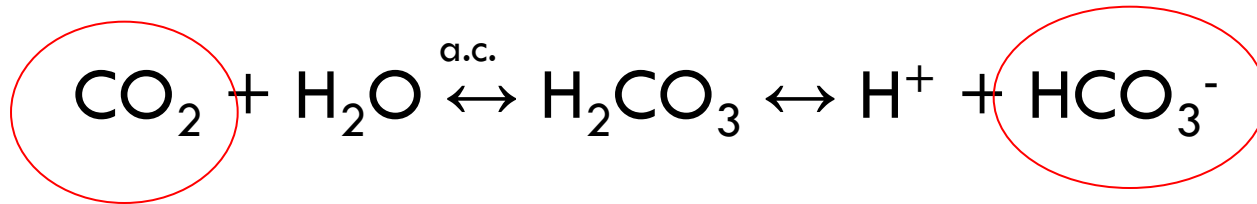
- O transporte de  $\text{CO}_2$  exerce um papel importante sobre o equilíbrio ácido-básico do organismo;
- Pulmão excreta 10.000 mEq de ácido carbônico por dia;
- Os rins eliminam menos de 100 mEq de ácidos fixos por dia;
- ventilação alveolar.



# Equilíbrio ácido-básico

É fundamental que a concentração do íon hidrogênio ( $H^+$ ) nos líquidos corporais, advindos do metabolismo, seja mantida muito constante, afim de garantir o adequado funcionamento enzimático.

# pH resultante da solução de CO<sub>2</sub>



## Equação Henderson-Hasselbach

$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{0,03 \times \text{P}_{\text{CO}_2}}$$

Constante de  
dissociação do  
ácido carbônico.

# Exemplo:

- Qual o pH de um indivíduo sabendo que o  $pK_a=6,1$ ,  $[HCO_3^-]=24$  mmol/L?

$$pH = 6,1 + \log ([HCO_3^-] / [PCO_2 \times 0,03])$$

$$pH = 6,1 + \log ([24] / [40 \times 0,03])$$

$$pH = 6,1 + \log 20$$

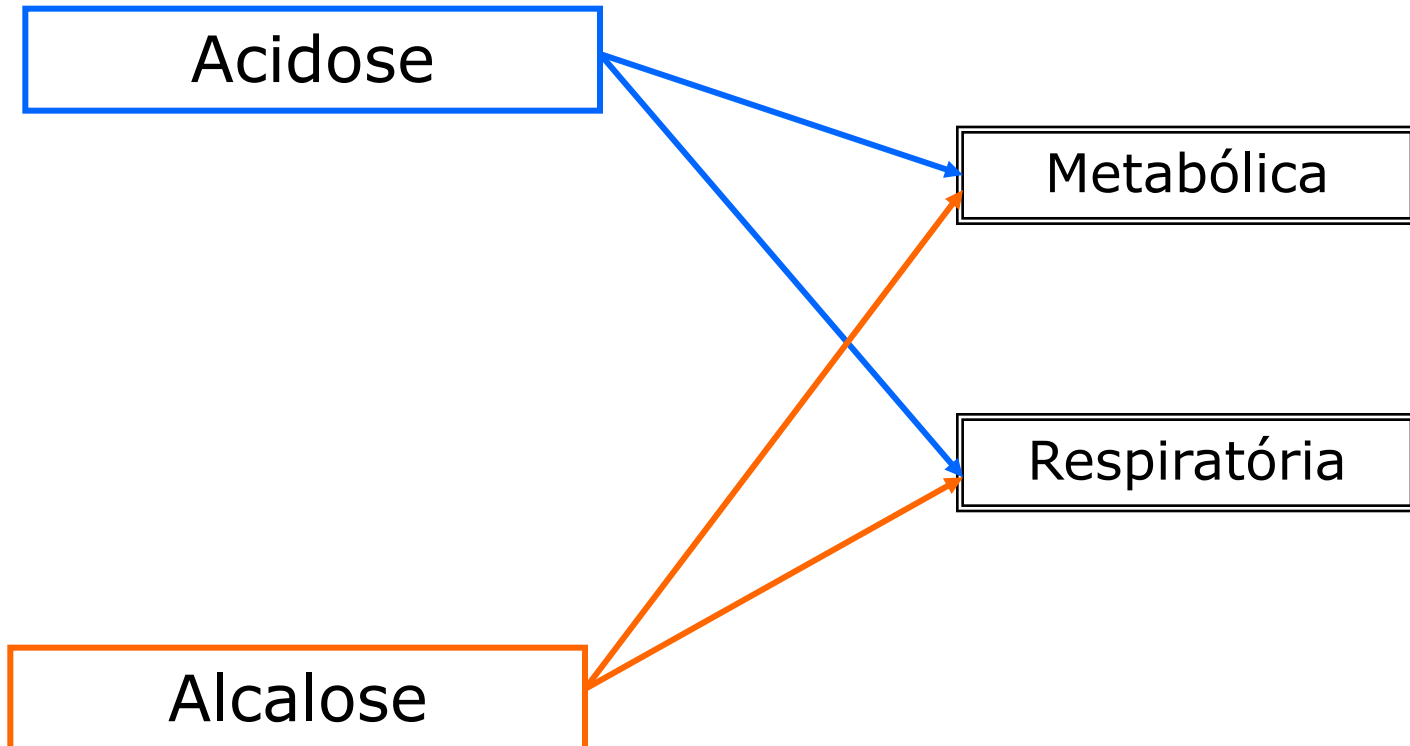
$$pH = 6,1 + 1,3 \rightarrow 7,4$$

# Gasometria arterial

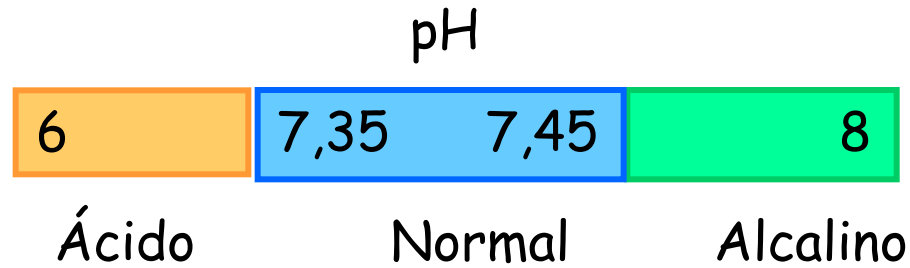
- Amostras sanguíneas podem ser analisadas clinicamente para se determinar a “gasometria arterial”: a  $PO_2$ , a  $PCO_2$ , o pH e o bicarbonato.



# Distúrbios



# pH



**Acidose**

**Alcalose**

**Respiratória**  
**Metabólica**

# Valores de normalidade

- pH: 7,35 – 7,4;
- $P_{CO_2}$ : 35-45 mmHg;
- $P_{HCO_3}$ : 22-26 mEq/L;
- **BE: -2 +2** (Elevado BE: excesso de base, o que acarretará uma alcalose metabólica. Baixo BE: Falta de base, ou seja, grande quantidade de ácido o que acarretará uma acidose metabólica.)

# Sistemas de controle

Sistema tampão

Sistema respiratório

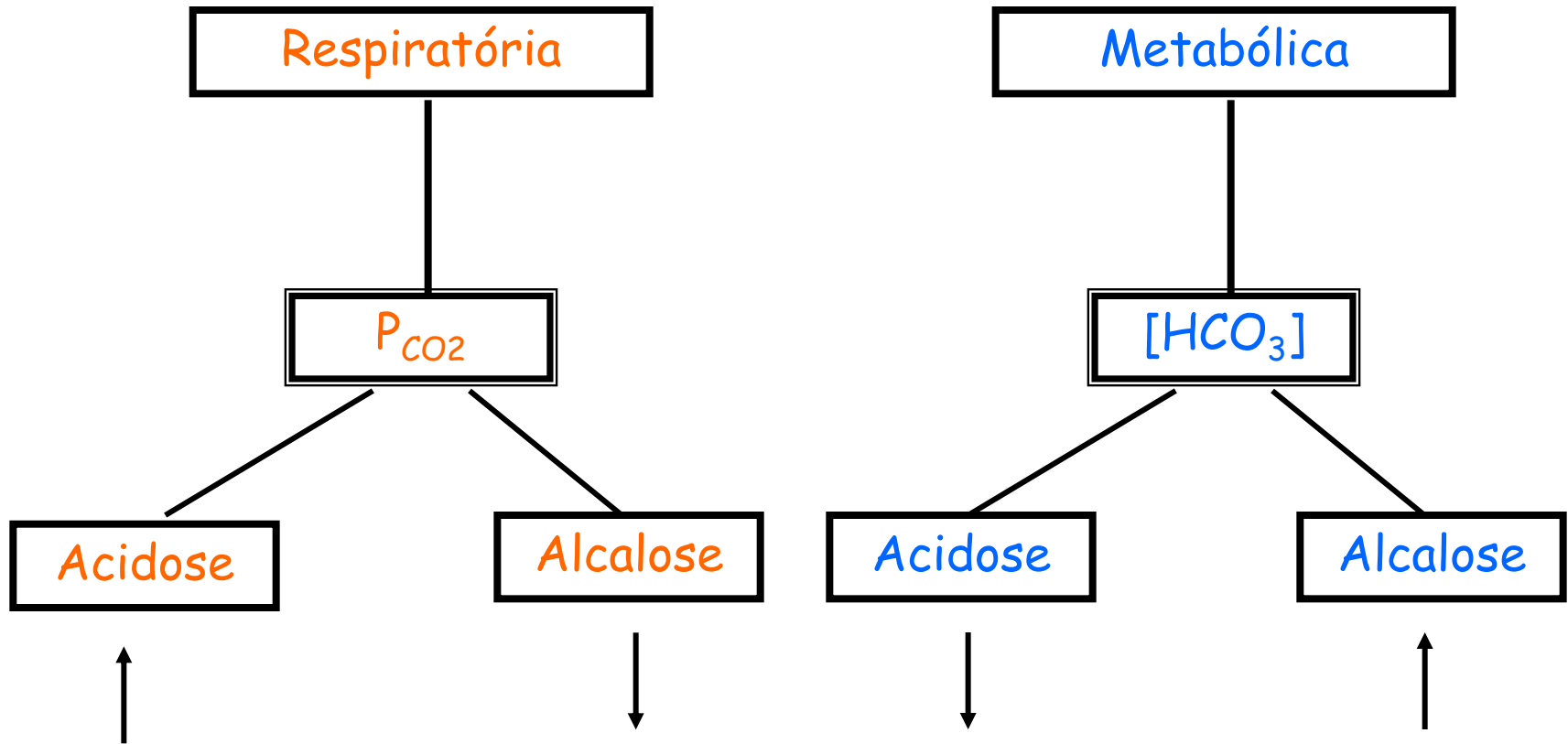
$\text{CO}_2$

Sistema renal

$\text{HCO}_3^-$



# Causas primárias dos distúrbios Ácido-Básicos



# ACIDOSE RESPIRATÓRIA

- $\uparrow P_{CO_2}$   $\downarrow pH$

## CAUSAS → HIPOVENTILAÇÃO

Depressão dos centros de controle respiratório

Restrição pulmonar

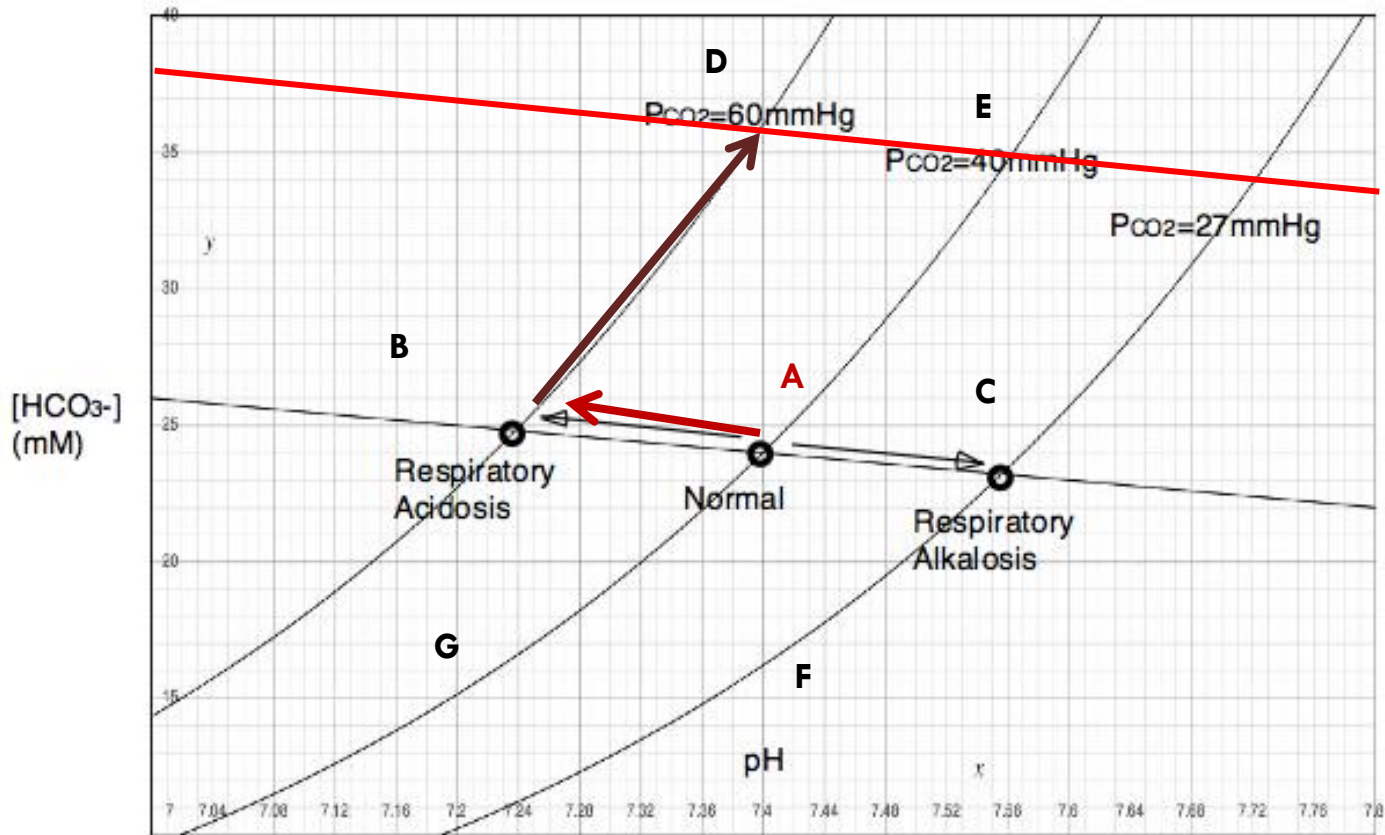
Restrição da parede torácica

Pneumopatias

Obstrução das vias aéreas



# ACIDOSE RESPIRATÓRIA



Excreção renal:  $H_2PO_4$  e  $NH_4$  = urina ácida / Reabsorção:  $HCO_3$

# ALCALOSE RESPIRATÓRIA

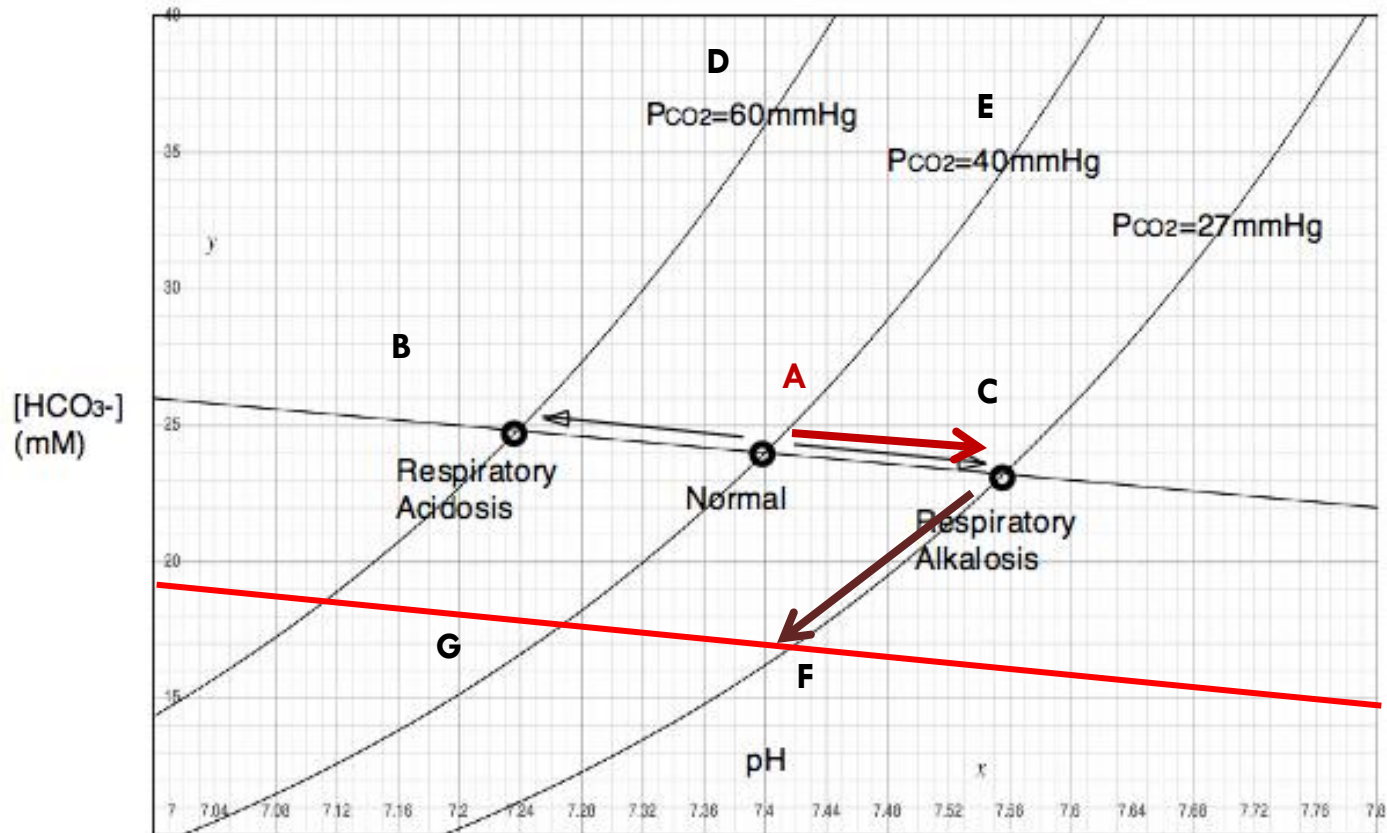
- $\downarrow P_{\text{CO}_2}$   $\uparrow \text{pH}$

## CAUSAS $\rightarrow$ HIPERVENTILAÇÃO

altitude elevada , psiconeurose,  
febre, ventilação excessiva.



# ALCALOSE RESPIRATÓRIA



**Excreção renal:  $HCO_3^-$  = urina básica**

# ACIDOSE METABÓLICA

- $\downarrow \text{HCO}_3^-$   $\downarrow$  pH

## CAUSAS $\rightarrow$ Alteração $[\text{HCO}_3^-]$

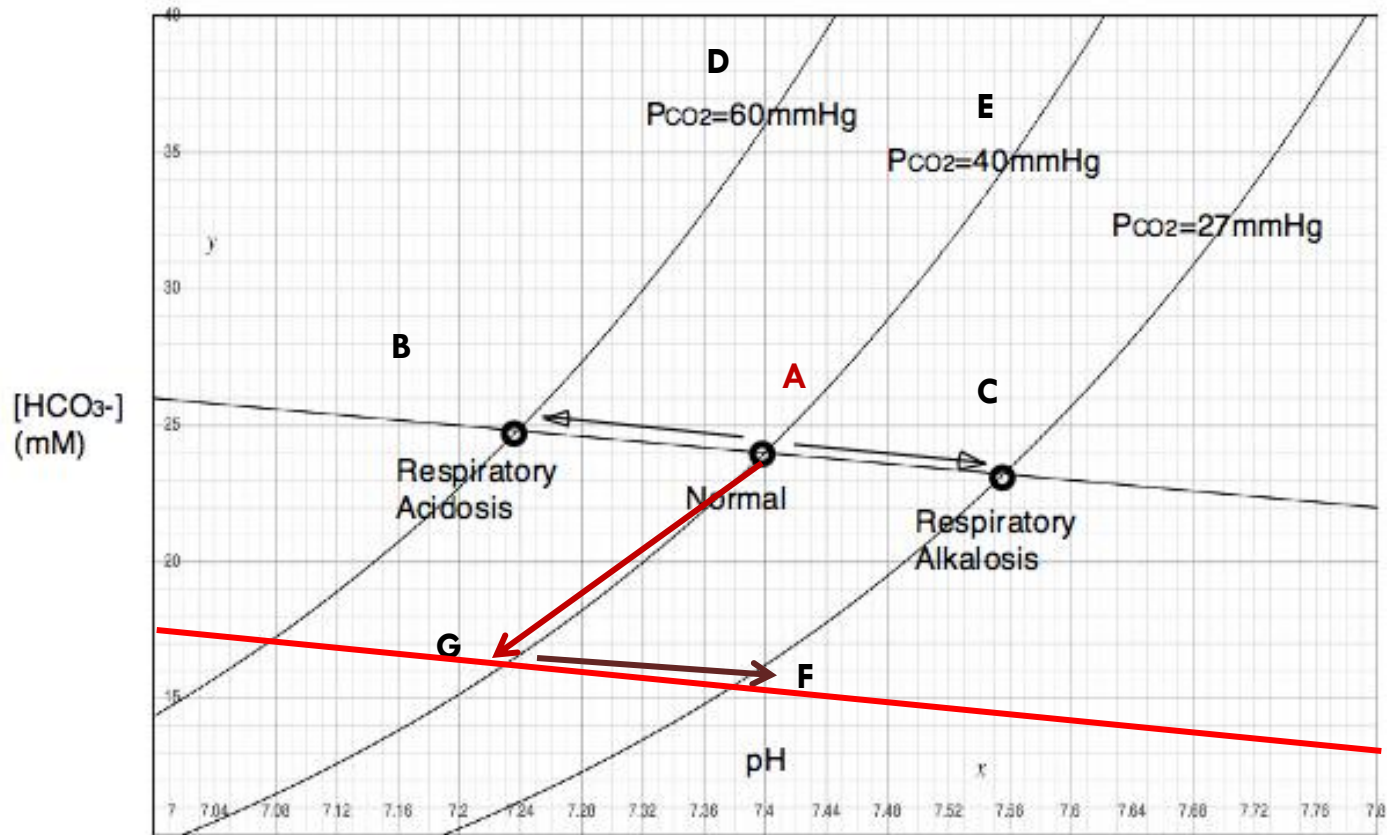
Vômito do conteúdo intestinal (Perda de íons bicarbonato)

Acidose láctica (hipóxia tecidual)

Cetoacidose diabética

Disfunção renal

# ACIDOSE METABÓLICA



# ALCALOSE METABÓLICA

- $\uparrow \text{HCO}_3^-$      $\uparrow \text{pH}$

## CAUSAS → Alteração $[\text{HCO}_3^-]$

Injeção excessiva de álcalis, por ex. no tto de gastrite;

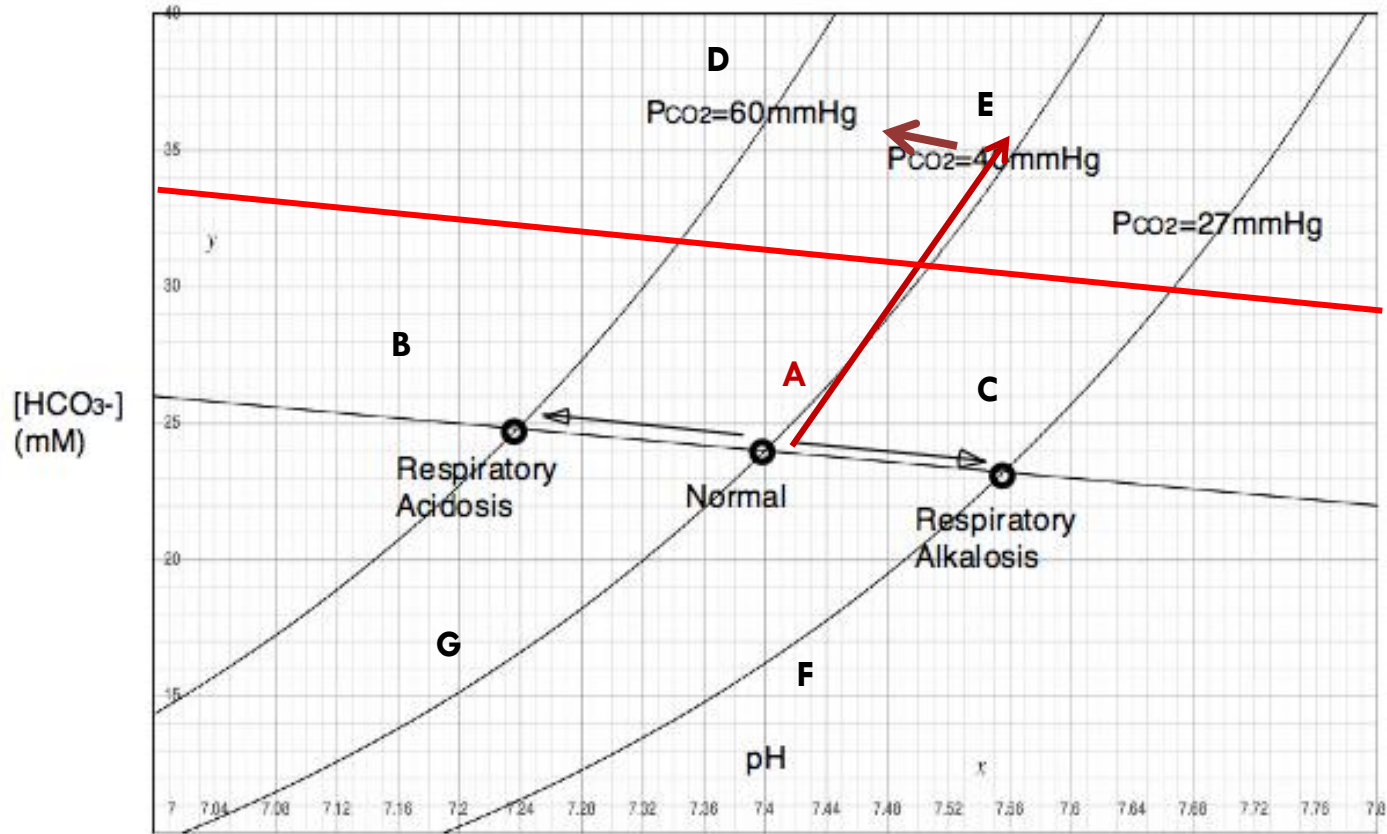
Diuréticos que provocam absorção distal de sódio, pois eliminam  $\text{H}^+$ ;

Êmese :  $\downarrow$  do conteúdo gástrico ( $\text{HCl}$ ),





# ALCALOSE METABÓLICA



---

**pH**

**H<sup>+</sup>**

**PCO<sub>2</sub>**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

---

**Normal**

**7,4**

**40  
mEq/l**

**40 mm  
Hg**

**40 mEq/l**

---

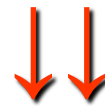
**Acidose respiratória**



**Alcalose respiratória**



**Acidose metabólica**



**Alcalose metabólica**



# Caso clínico

**Paciente de 30 anos com respiração superficial e com frequência normal. Familiares encontraram próximo a ela diversas caixas de tranqüilizantes vazias. Gasometria arterial: pH= 7,20; PaCO<sub>2</sub>= 80mmHg; Bic= 23 mM/L**  
**Qual(is) o(s) distúrbio(s) ácido-básico(s) apresentado(s), seu(s) mecanismo(s), causa mais provável?**

Como o pH está menor que 7,35 trata-se de uma acidose. A PaCO<sub>2</sub> maior que 45 mmHg mostra que existe um importante componente respiratório. O Bic normal mostra que não há compensação metabólica. Portanto o distúrbio ácido-básico é acidose respiratória aguda. O mecanismo do distúrbio nesta paciente é a diminuição da eliminação de CO<sub>2</sub> por redução da ventilação alveolar; insuficiência respiratória aguda, tipo hipoventilação. A causa provável, em função da história, é depressão do centro respiratório por excesso de tranqüilizantes.

# Caso clínico 2

Após 24 horas de tratamento no CTI, a paciente do caso 1 ainda se encontra torporosa e submetida a ventilação artificial. **Gasometria arterial: pH= 7,52; PaCO<sub>2</sub>= 26 mmHg; Bic= 25,6 mM/L;**

**Qual(is) o(s) distúrbio(s) ácido-básico(s) apresentado(s), seu mecanismo, a causa?**

Como o pH está maior que 7,45, trata-se de uma alcalose. A PaCO<sub>2</sub> está menor que 35 mmHg, sugerindo um componente respiratório. O Bic normal mostra não haver componente metabólico, nem tentativa de compensação. Em função disto o distúrbio ácido-básico é alcalose respiratória aguda. O mecanismo mais provável neste caso é ventilação alveolar excessiva, que aumenta a eliminação de CO<sub>2</sub>. A causa mais provável é a regulagem inadequada do ventilador mecânico

# Caso clínico 3

**Paciente de 50 anos chega ao Setor de Emergência torporoso, desidratado, com respiração profunda, pausa inspiratória e aumento da frequência respiratória. Ao exame clínico nota-se hálito cetônico. Gasometria arterial: pH= 7,10; PaCO<sub>2</sub>= 20 mmHg; Bic= 5 mM/L;**

**Qual(is) o(s) distúrbio(s) ácido-básico(s) apresentado(s), seu mecanismo, sua causa?**

A análise do pH muito menor que 7,35 sugere acidose importante. A PaCO<sub>2</sub> menor que 35 mmHg exclui causa respiratória, sugerindo ao contrário, ser uma compensação. O Bic muito baixo confirma ser de origem metabólica. O distúrbio é uma acidose metabólica com tentativa de compensação respiratória. Este padrão gasométrico e o exame clínico são típicos de pacientes diabéticos descompensados com cetoacidose. Na tentativa de normalizar o pH, ele aumenta a ventilação alveolar eliminando CO<sub>2</sub> em excesso, mas sem conseguir compensar o distúrbio. Se não houvesse a participação respiratória, o pH estaria muito mais baixo.

# Caso clínico 4

Paciente de 23 anos está no CTI com insuficiência respiratória grave. **Gasometria arterial: pH= 7,21; PaCO<sub>2</sub>= 54 mmHg; Bic= 19 mM/L;**  
**Qual(is) o(s) distúrbio(s) ácido-básico(s) apresentado(s), mecanismos?**

# Caso clínico 4

**O pH menor que 7,35 indica acidose. A PaCO<sub>2</sub> maior que 45 mmHg sugere componente respiratório. O Bic menor que 22 mM/L sugere componente metabólico. O distúrbio ácido-básico é acidose mista (respiratória e metabólica). Nos casos de choque circulatório, as células do organismo não recebem a quantidade de oxigênio necessária ao seu metabolismo, transformando-o em anaeróbico, o que causa acúmulo de ácido lático (ácido fixo). Este é o mecanismo do componente metabólico desta acidose.**

Obrigado!