

Disciplina de Fisiologia Veterinária

**FISIOLOGIA
RESPIRATÓRIA DOS
MAMÍFEROS**

OBJETIVOS DA AULA

- ✓ Revisão da anatomia do sistema respiratório
- ✓ Relembrar leis da física importantes para a compreensão do tema
- ✓ Aprender sobre a mecânica respiratória e os fatores que interferem

HISTÓRICO



GALENO = Século II – observou que o sangue nos pulmões era abastecido por um espírito vital e que as artérias não eram estruturas pneumáticas.



MARCELO MALPIGHI – Século XVII – observou que o ar passava via traquéia e estabeleceu teoria que havia passagem direta de ar dos pulmões para o ventrículo esquerdo.



RICHARD LOWER – mesmo século – observou que a mudança da cor do sangue ocorria nos pulmões



AUGUST e MARIE KROGH – Século XX – evidenciaram o fenômeno da difusão pulmonar

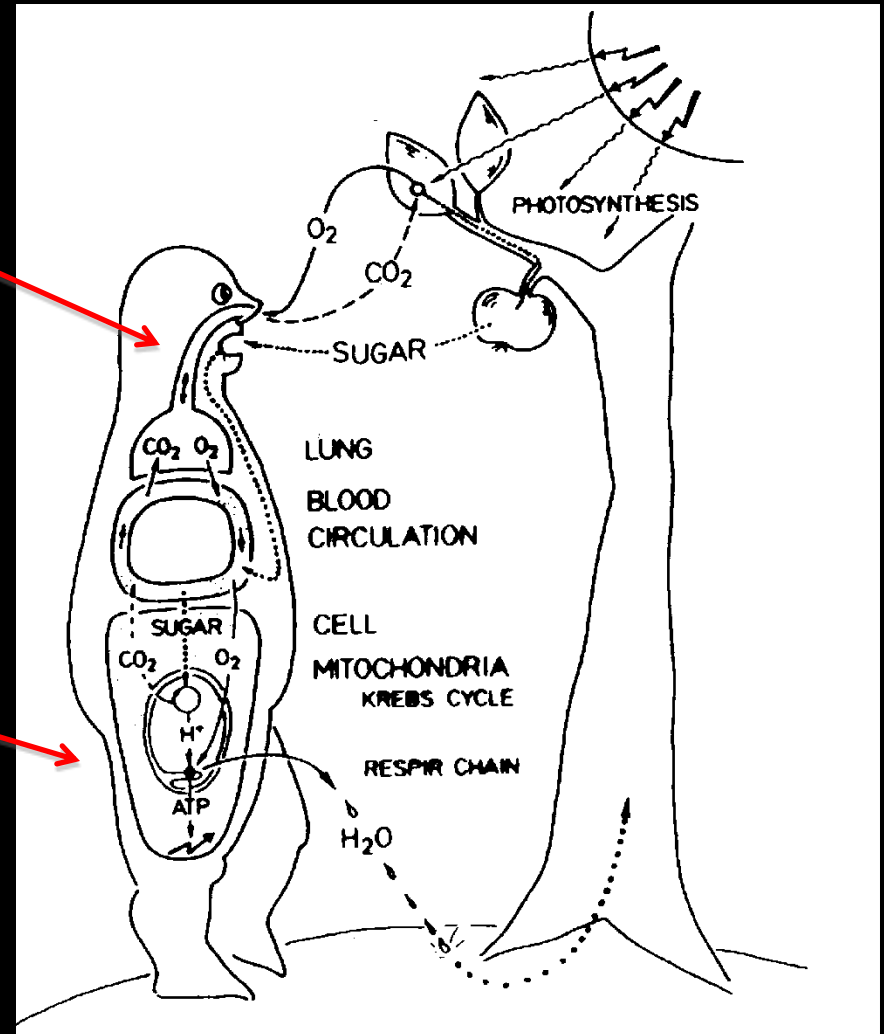
FUNÇÕES

- ✓ **Suprir o organismo com oxigênio (O_2) e remover o produto gasoso do metabolismo celular, o dióxido de carbono (CO_2)**
- ✓ **Participam do equilíbrio térmico**
- ✓ **Auxiliam na manutenção do pH plasmático, regulando a eliminação de ácido carbônico**
- ✓ **A circulação pulmonar desempenha papel importante de filtrar eventuais embolos trazidos pela circulação venosa**
- ✓ **O endotélio da circulação pulmonar contém enzimas que produzem, metabolizam ou modificam substâncias vasoativas**
- ✓ **Outras: Defesa contra agentes agressores e a fonação**

SISTEMA RESPIRATÓRIO: ESTRUTURA E FUNÇÃO

VENTILAÇÃO

RESPIRAÇÃO



RESPIRAÇÃO CONSISTE EM QUATRO PARTES

1. Ventilação pulmonar - movimento do ar para dentro e para fora do organismo
2. Respiração externa – transporte do O_2 e do CO_2 entre os pulmões e o sangue
3. Respiração interna – transporte do O_2 e do CO_2 para tecidos e células
4. Respiração celular – utilização do oxigênio para produzir energia, no qual produz também dióxido de carbono



ANATOMIA

Composição do sistema respiratório:

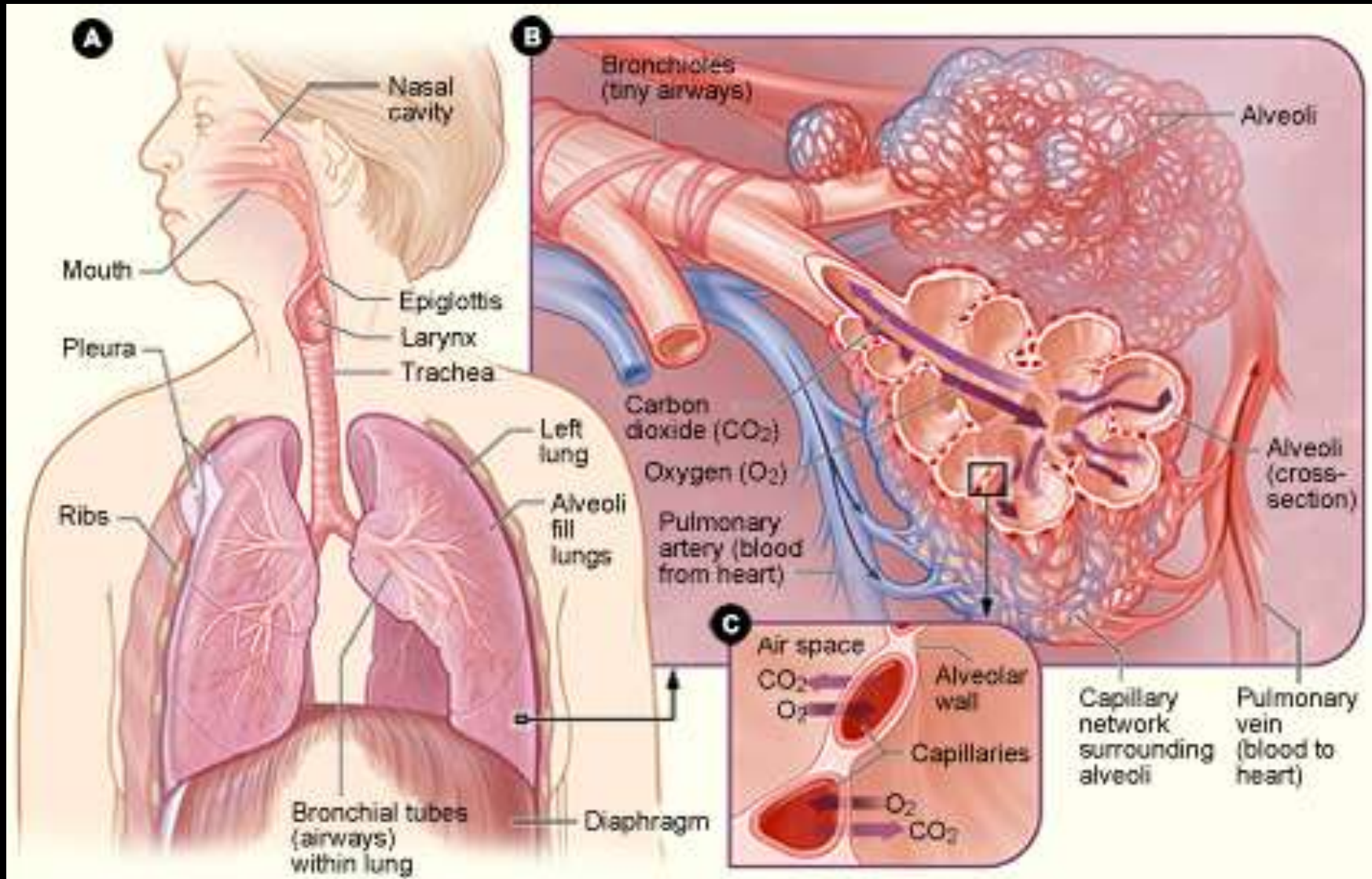
- ✓ Narinas
 - ✓ Cavidades Nasais
 - ✓ Faringe
 - ✓ Laringe
 - ✓ Traquéia
 - ✓ Brônquios
 - ✓ Bronquíolos
 - ✓ Bronquíolos terminais
 - ✓ Bronquíolos respiratórios
 - ✓ Ducto alveolar
 - ✓ Saco alveolar
 - ✓ Alvéolos
- Trato Respiratório Superior**
- Trato Respiratório Inferior**
-
- ```
graph LR; A[✓ Narinas] --- B[Trato Respiratório Superior]; C[✓ Cavidades Nasais] --- B; D[✓ Faringe] --- B; E[✓ Laringe] --- B; F[✓ Traquéia] --- C[Trato Respiratório Inferior]; G[✓ Brônquios] --- C; H[✓ Bronquíolos] --- C; I[✓ Bronquíolos terminais] --- C; J[✓ Bronquíolos respiratórios] --- C; K[✓ Ducto alveolar] --- C; L[✓ Saco alveolar] --- C; M[✓ Alvéolos] --- C;
```

# ÁRVORE BRÔNQUICA

1. Os pulmões possuem muitas ramificações conhecidas como árvore brônquica
2. A traquéia e os brônquios possuem cartilagem para manter as vias aéreas abertas
3. A parede bronquiolar contém mais músculo que outras estruturas, característica utilizada na regulação do fluxo de ar



# ANATOMIA



# ORGANIZAÇÃO MORFOFUNCIONAL

O sistema respiratório dos mamíferos é compreendido pela:

## 1. Zona de transporte gasoso:

Formado pelas vias aéreas superiores e árvore traqueobrônquica, encarregadas de acondicionar e conduzir o ar até a intimidade dos pulmões (filtra, umidifica e aquece)

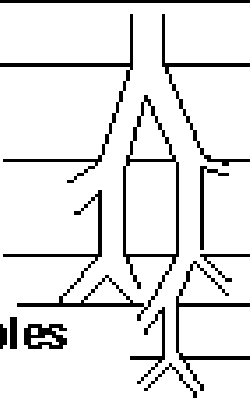
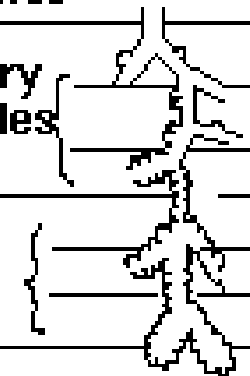
## 2. Zona respiratória

Local onde efetivamente se realizam as trocas gasosas

## 3. Zona de transição

Interposta entre as duas primeiras, onde começa ocorrer trocas gasosas, porém a níveis não-significantes (Bronquíolos respiratórios)

# ESQUEMA SIMPLIFICADO DAS SUBDIVISÕES

| Conduction zone                                                                    | Generation              |         | Diameter (cm) | Length (cm)     | Number          | Total cross sectional area (cm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------------------|
|                                                                                    |                         | trachea | 0             | 1.80            | 12.0            | 1                                             |
|   | bronchi                 | 1       | 1.22          | 4.8             | 2               | 2.33                                          |
|                                                                                    |                         | 2       | 0.83          | 1.9             | 4               | 2.13                                          |
|                                                                                    |                         | 3       | 0.56          | 0.8             | 8               | 2.00                                          |
|                                                                                    | bronchioles             | 4       | 0.45          | 1.3             | 16              | 2.48                                          |
|                                                                                    | terminal bronchioles    | 5       | 0.35          | 1.07            | 32              | 3.11                                          |
|  |                         | 16      | 0.06          | 0.17            | $6 \times 10^4$ | 180.0                                         |
|                                                                                    | respiratory bronchioles | 17      |               |                 |                 |                                               |
|                                                                                    |                         | 18      |               |                 |                 |                                               |
|                                                                                    |                         | 19      | 0.05          | 0.10            | $5 \times 10^5$ | $10^3$                                        |
|                                                                                    | alveolar ducts          | 20      |               |                 |                 |                                               |
|                                                                                    |                         | 21      |               |                 |                 |                                               |
|                                                                                    |                         | 22      |               |                 |                 |                                               |
| alveolar sacs                                                                      | 23                      | 0.04    | 0.05          | $8 \times 10^6$ | $10^4$          |                                               |

# ESPAÇO MORTO RESPIRATÓRIO

- ✓ É o espaço existente nas vias aéreas onde não há difusão de gases (sem epitélio respiratório)
- ✓ Funções: Conduzir o ar, aquecer, umedecer, filtrar, produzir som (Laringe) e captar substâncias odoríferas
- ✓ Espaço morto fisiológico = espaço morto anatômico + espaço morto alveolar

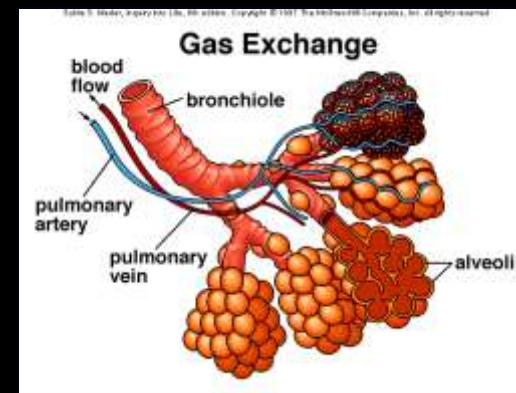
# PLEURA

- ✓ Cada pulmão é envolvido por duas paredes de membrana serosa conhecidas como pleura (visceral e parietal)
- ✓ Pleura visceral é uma fina membrana de tecido conjuntivo-elástico que envolve os pulmões
- ✓ Pleura parietal reveste toda a cavidade torácica em sua face interna
- ✓ Líquido pleural é um ultrafiltrado do plasma que permite a movimentação dos pulmões sem qualquer atrito no interior do tórax

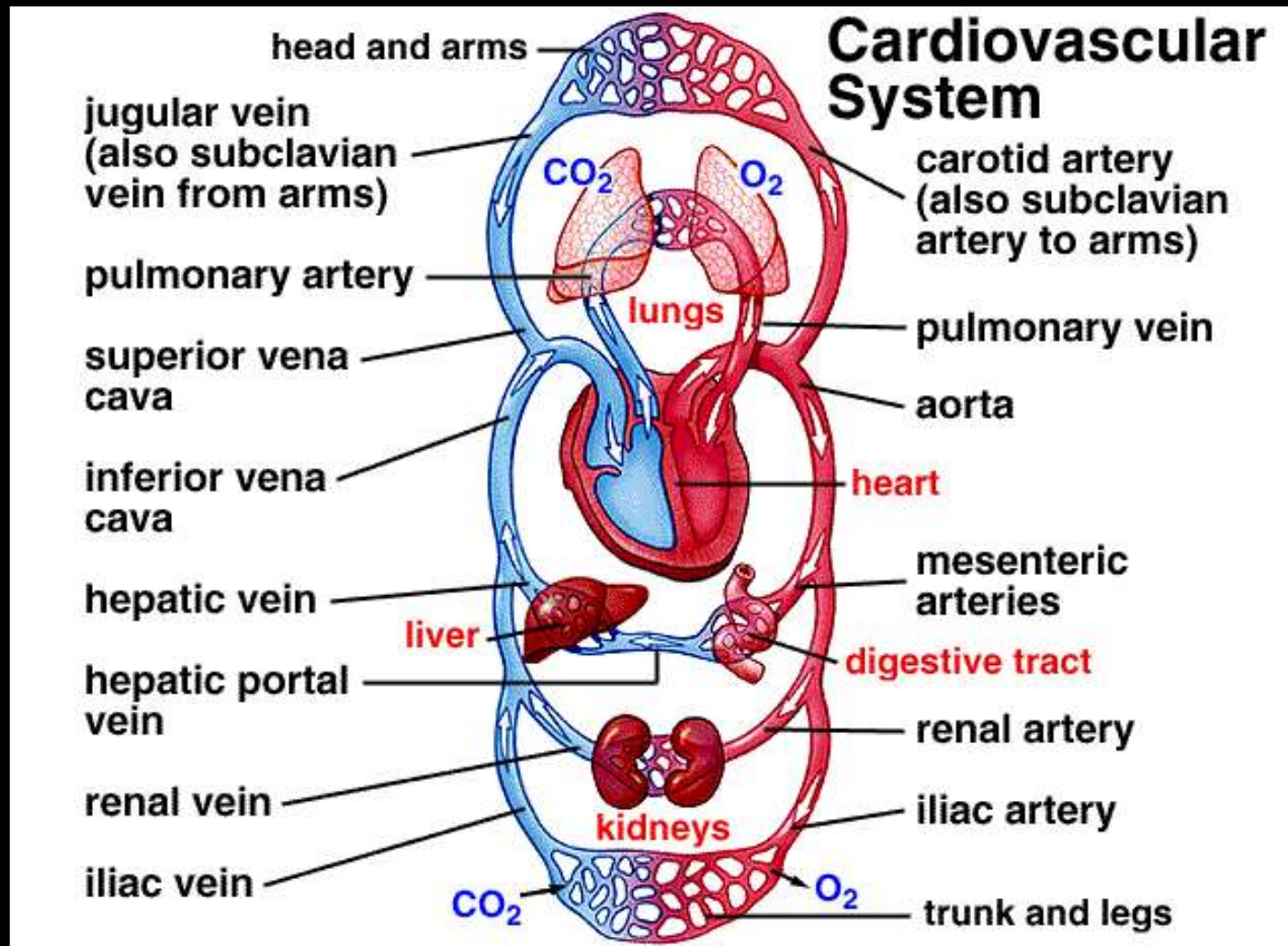
**Obs: Inervação sensitiva só ocorre na pleura**

# ALVÉOLOS E CAPILARES PULMONARES

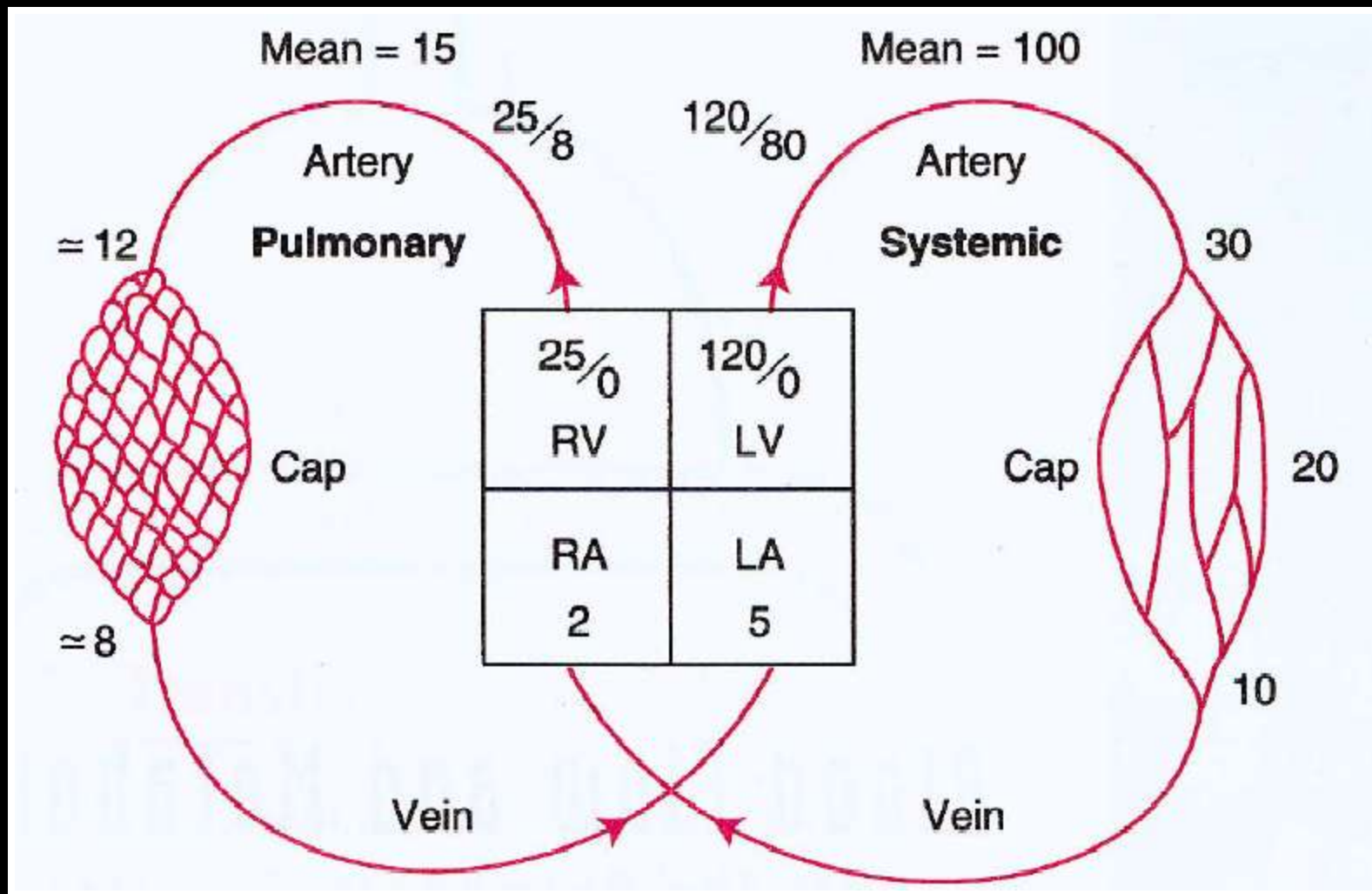
- ✓ As artérias pulmonares transportam sangue pobre em oxigênio do coração para os pulmões
- ✓ Capilares oriundos das artérias pulmonares envolvem completamente os alvéolos
- ✓ O oxigênio e o dióxido de carbono são trocados entre o ar do alvéolo e o sangue dos capilares pulmonares
- ✓ O sangue que sai dos capilares via veias pulmonares é rico em oxigênio e volta para o coração esquerdo



# SISTEMA RESPIRATÓRIO: ESTRUTURA E FUNÇÃO



# SISTEMA RESPIRATÓRIO: ESTRUTURA E FUNÇÃO

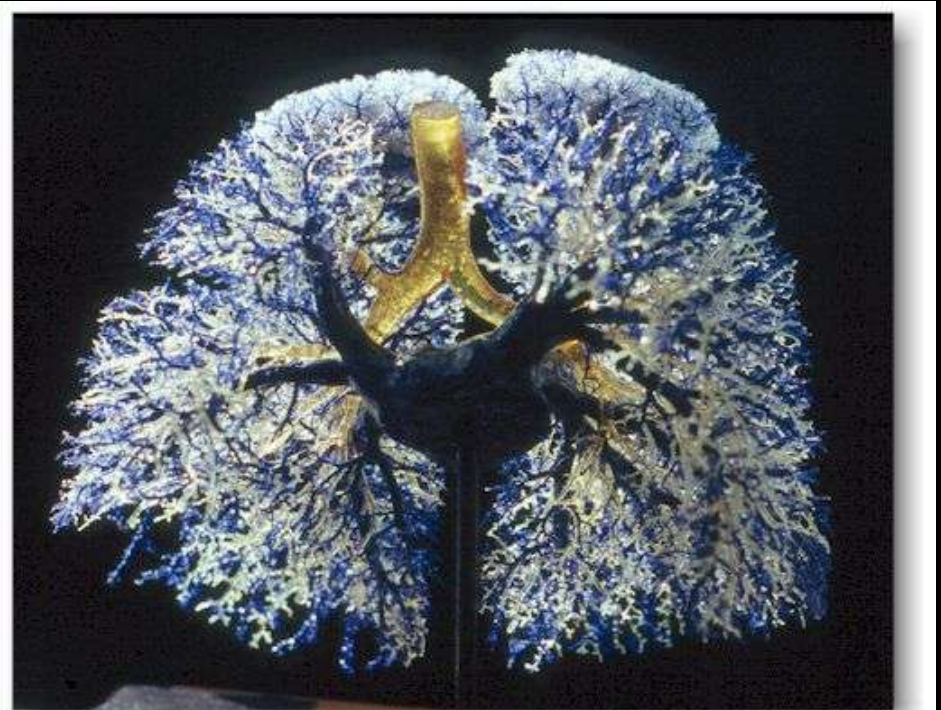




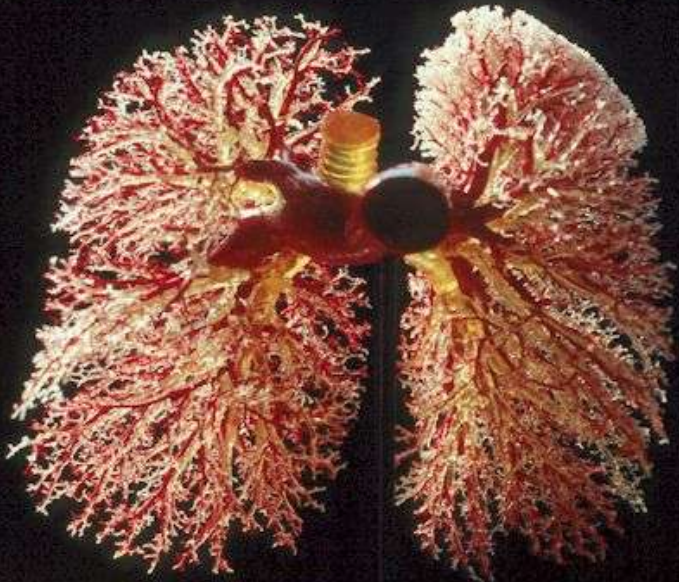
# ESTRUTURAS DO ALVÉOLO

- ✓ Os alvéolos pulmonares são os principais sítios de difusão gasosa entre o ar e o sangue dos mamíferos
- ✓ Constituídos de dois tipos de células: pneumócitos tipo I (função de revestimento) e pneumócito tipo II (secretam surfactante)
- ✓ Surfactante é uma mistura de fosfolipídeos e lipoproteínas, no qual reduz a tensão superficial do fluido alveolar

*Resin cast of pulmonary arteries and airways*

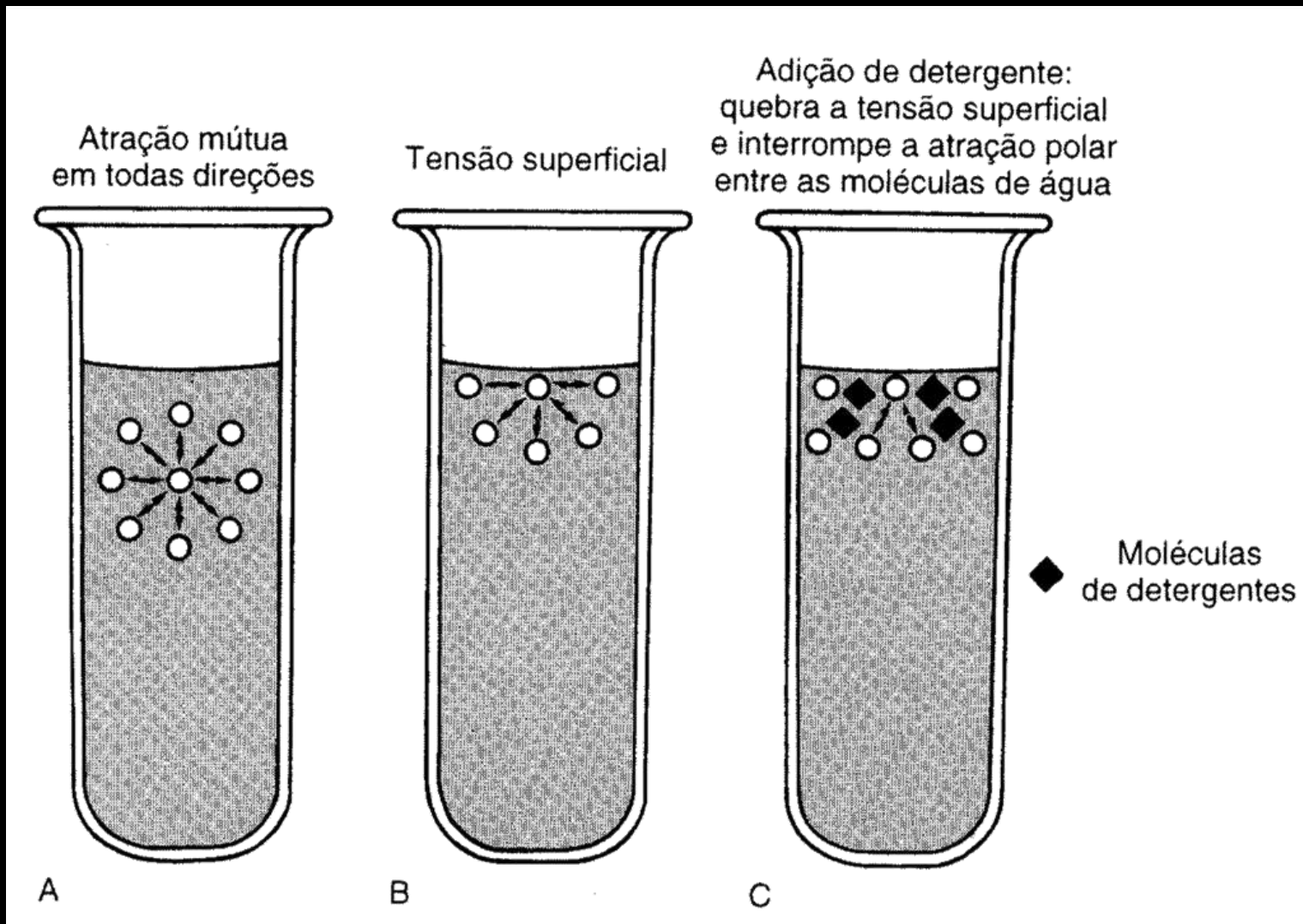


*Resin cast of pulmonary veins and airways*



# Tensão Superficial dos Líquidos

## Surfactante Pulmonar

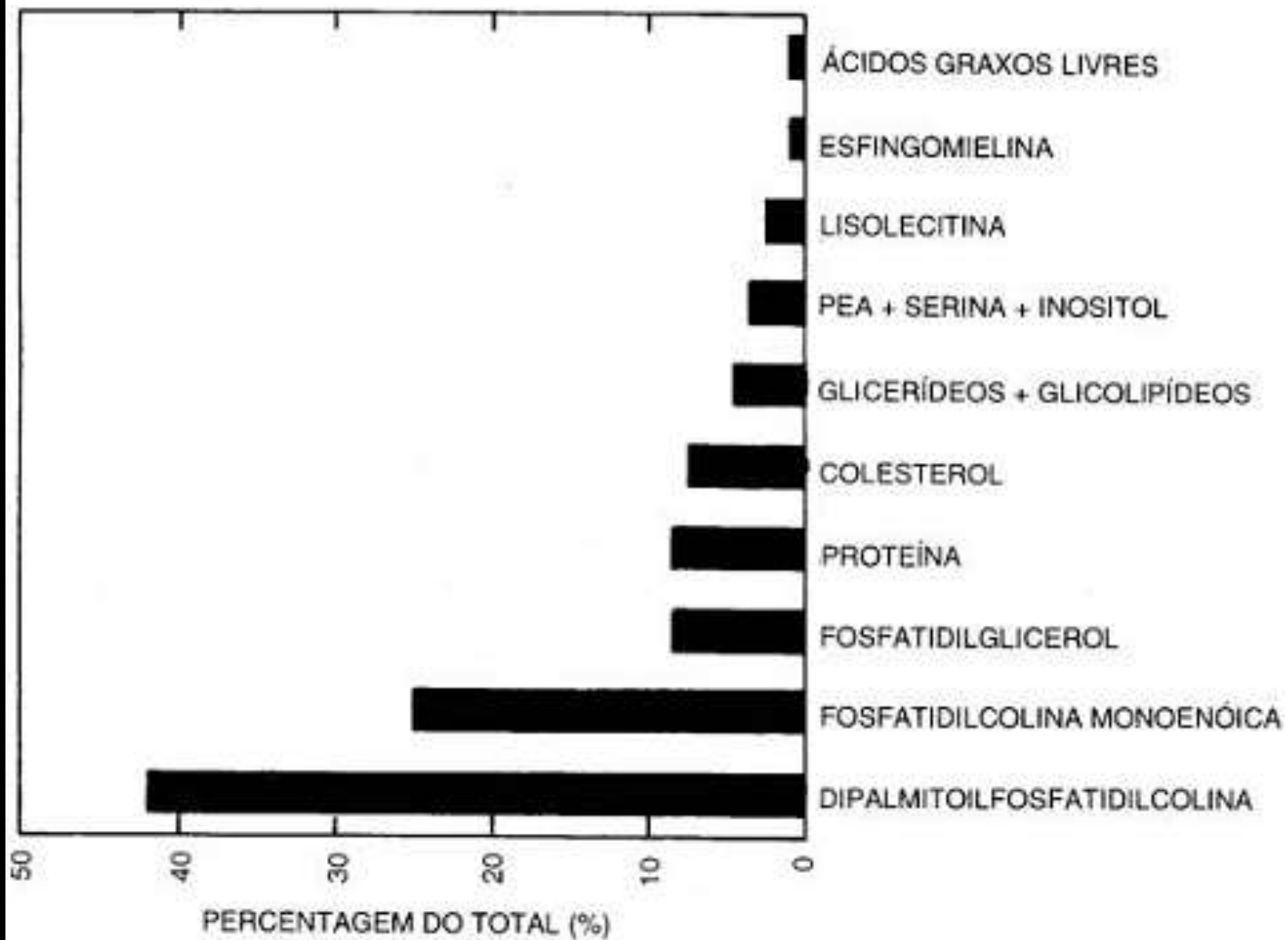


# Tensão Superficial dos Líquidos

## Surfactante Pulmonar



## COMPOSIÇÃO DO SURFACTANTE PULMONAR



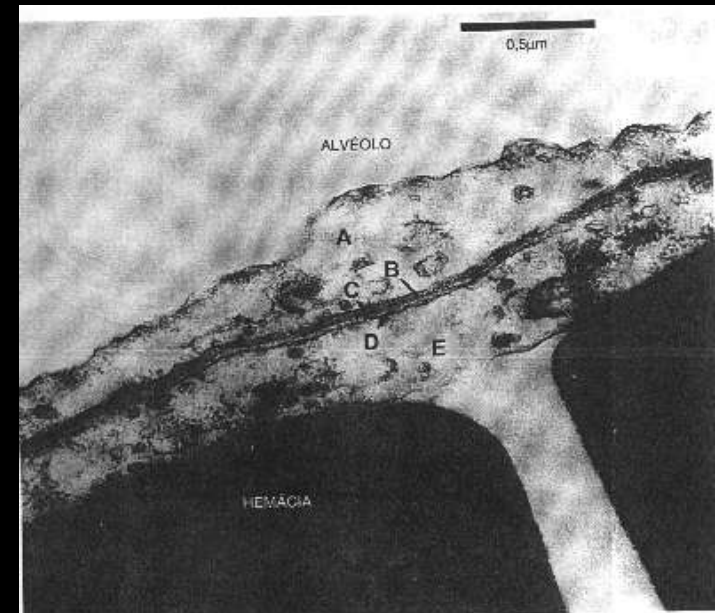
# ESTRUTURAS DA MEMBRANA RESPIRATÓRIA

✓ A parede alveolar e a parede capilar forma a membrana respiratória (espessura de 0,5  $\mu\text{m}$ )

✓ Composta de:

1. Epitélio alveolar
2. Membrana basal do epitélio alveolar
3. Espaço intersticial
4. Membrana basal do epitélio capilar
5. Endotélio capilar

(Difusão é o mecanismo primário do transporte de gases)



# DIFUSÃO DOS GASES

- ✓ Os gases apresentam movimento líquido por difusão simples em resposta aos gradientes de pressão.
- ✓ A difusão líquida ocorre a partir de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão.
- ✓ A difusão ocorre porque o  $O_2$  é consumido pelos tecidos o que baixa a  $PO_2$ , e o  $CO_2$  produzido aumenta a  $PCO_2$
- ✓ A medida que o ar fresco entra nos pulmões surge um gradiente para prover o sangue de  $O_2$  e remover o  $CO_2$  acumulado

# TROCA DE GASES

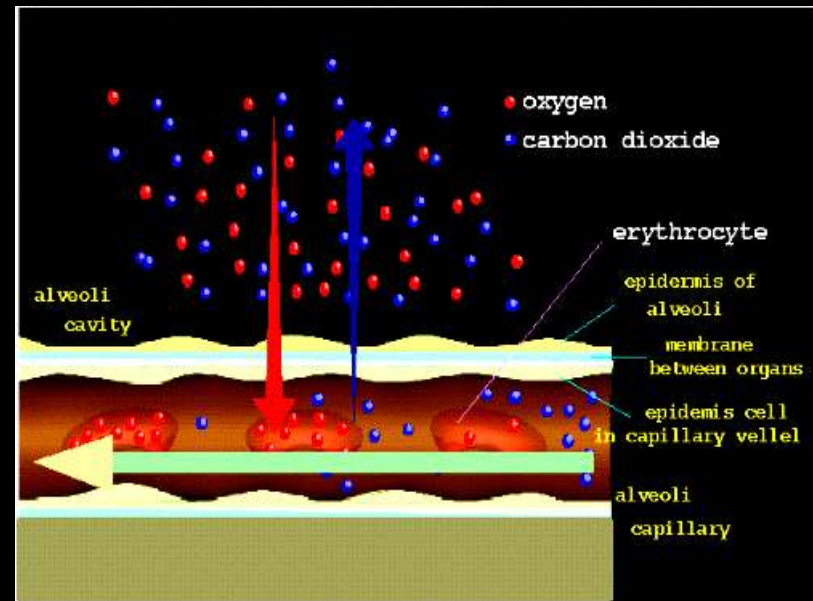
## OXIGÊNIO (O<sub>2</sub>) E DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

DIFUSÃO POR DIFERENÇA DE PRESSÃO PARCIAL

CO<sub>2</sub> 20x MAIS SOLÚVEL QUE O<sub>2</sub>

**HIPOXEMIA** ⇒ PaO<sub>2</sub> < 60 mmHg

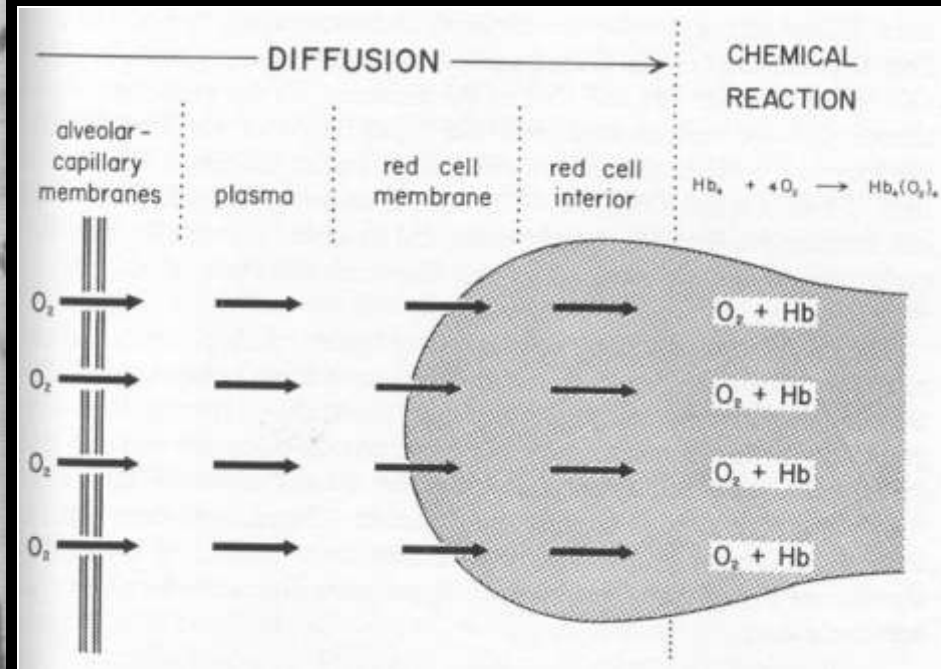
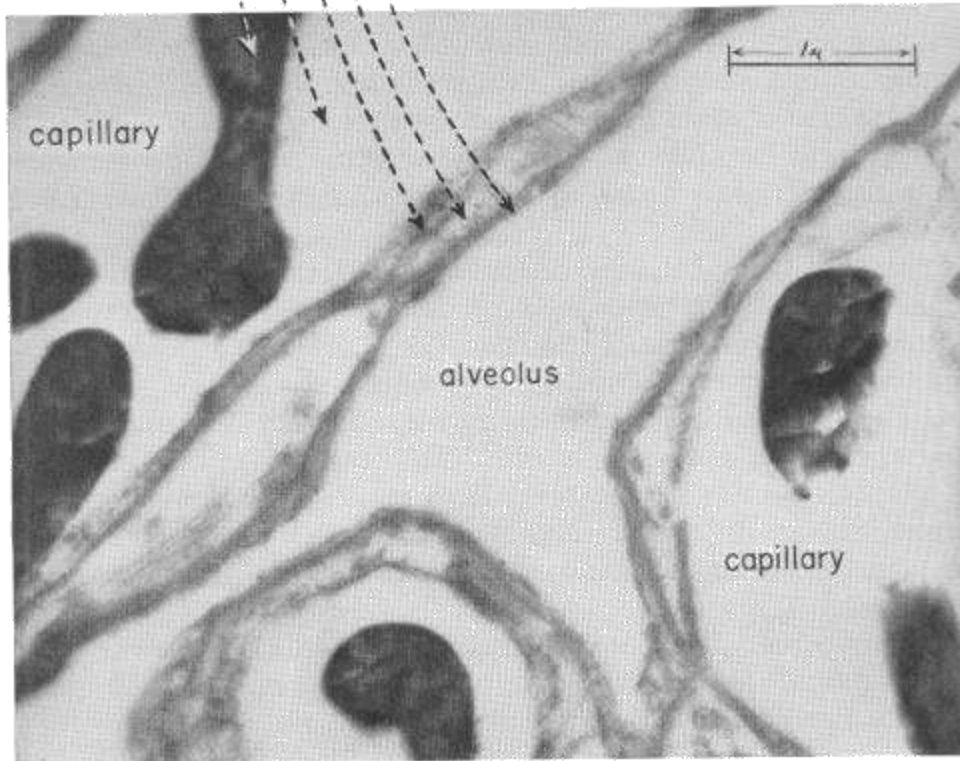
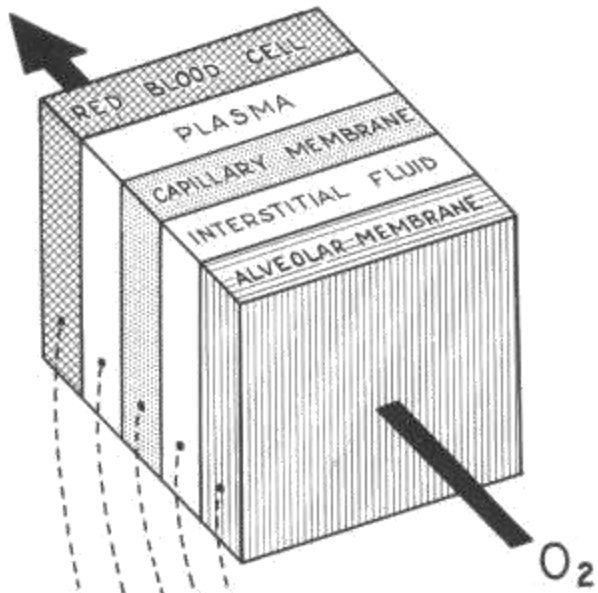
**HIPERCAPNIA** ⇒ PaCO<sub>2</sub> > 50 mmHg



**FLUXO SANGUÍNEO PULMONAR ADEQUADO**



# Difusão



- **Lei de HENRY**

- “A pressão parcial do gás que pode ser dissolvida no líquido é proporcional à pressão parcial do gás para o qual o líquido é exposto”

- **Lei de GRAHAM**

- “O difusibilidade do gás é inversamente proporcional à raiz quadrada de seu peso molecular.”

# Lei de Fick

$$\dot{V} = \frac{A \cdot d}{T} (P_1 - P_2)$$

**A** = área de superfície disponível

**T** = espessura da Membrana

**d** = coeficiente de difusibilidade

**(P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>)** = diferença de pressão entre a membrana

$$d = \frac{sol}{\sqrt{PM}}$$

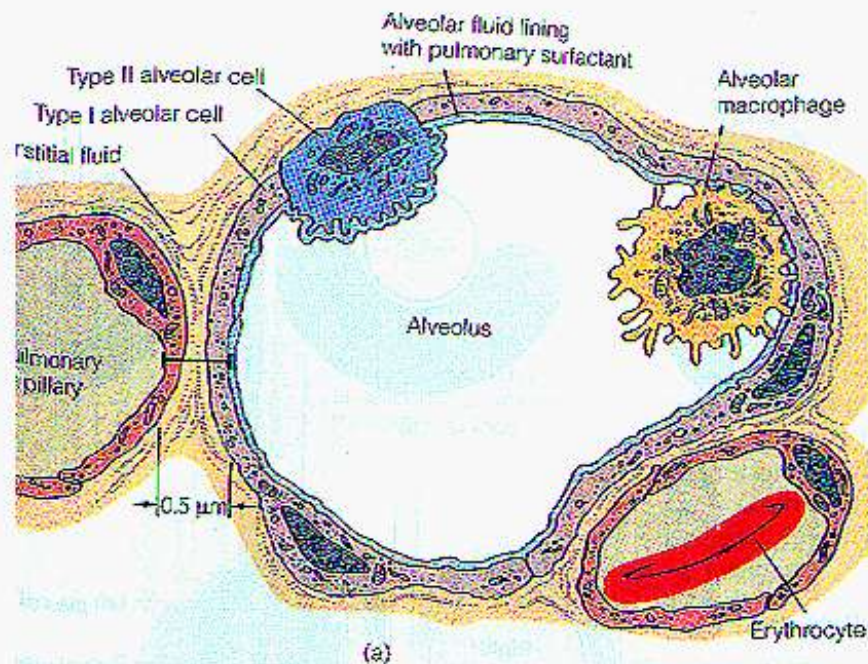
Lei de Henry

Lei de Graham

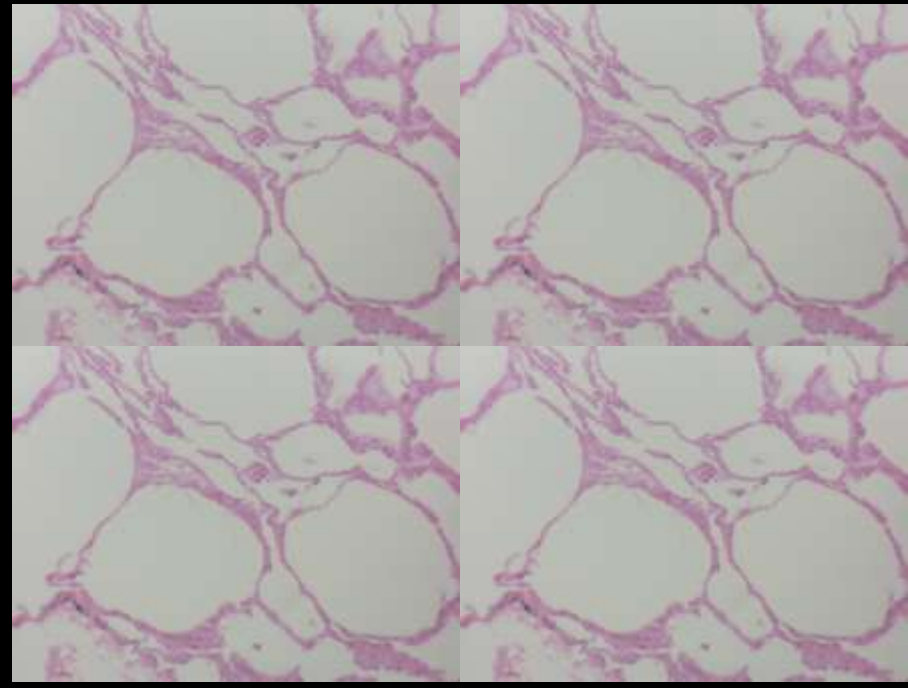
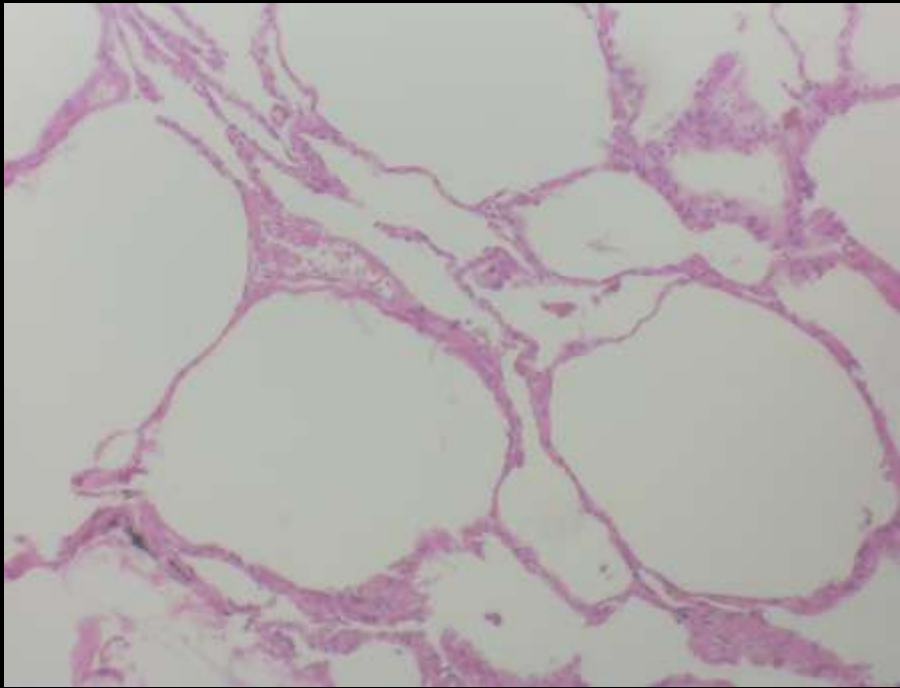
# CONSIDERAÇÕES CLÍNICAS:

**EDEMA INTERSTICIAL PULMONAR => aumenta a distância de difusão e diminui a taxa de difusão**

**ENFIZEMA PULMONAR => ocorre destruição da parede alveolar diminuindo a área de superfície e assim a taxa de difusão.**



**Os animais em geral apresentam proporcionalidade entre o pulmão e o peso corporal (8% do peso corporal), mas os pequenos animais tem maior eficiência pulmonar pois há um maior número de alvéolos menores, ou seja, tem uma área de difusão aumentada.**



# Pressão Parcial dos Gases

- Lei de DALTON
  - “Numa mistura de gases a pressão total é igual à soma das pressões parciais dos componentes da mistura.”

- $P_{\text{PARCIAL}} = \text{Fração} \times P_{\text{barométrica}}$

$$P_{\text{ATM}} = P_{\text{N}_2} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{CO}_2} + P_{\text{AR}} + P_{\text{H}_2\text{O}}$$

# VENTILAÇÃO

- Composição dos Gases Ambientais, Inspirados e Alveolar.

Pressões Parciais dos Gases no Ar Ambiente, no Ar Inspirado e no Gás Alveolar

| Gás                            | Ar Ambiente Seco |               | Ar Inspirado* | Gás Alveolar* |
|--------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                | Fração           | Tensão Gasosa | Tensão Gasosa | Tensão Gasosa |
| Nitrogênio                     | 0,7809           | 593,5         | 556,8         | 566           |
| Oxigênio                       | 0,2093           | 159,1         | 149,2         | 100           |
| Dióxido de carbono             | 0,0003           | 0,23          | 0,21          | 40            |
| Argônio e outros gases inertes | 0,0095           | 7,2           | 6,8           | 6,9           |
| Água                           | 0                | 0             | 47            | 47            |
| Total                          | 1,00             | 760           | 760           | 760           |

## COMPOSIÇÃO DO AR ATMOSFÉRICO NO NÍVEL DO MAR

Pressão total => 760 mmHg Sendo:

21% de O<sub>2</sub> ..... PO<sub>2</sub> = 159 mm

0,03 % de CO<sub>2</sub> .....PCO<sub>2</sub> = 0,23 mm

79% de N<sub>2</sub> .....PN<sub>2</sub> = 600 mm

## PRESSÕES PARCIAIS E TOTAL (em mmHg) DOS GASES RESPIRATÓRIOS SERES HUMANOS NO NÍVEL DO MAR

| GASES           | SG VENOSO | AR ALVEOLAR | SG ARTERIAL | TECIDOS |
|-----------------|-----------|-------------|-------------|---------|
| O <sub>2</sub>  | 40        | 104         | 100         | 30 OU - |
| CO <sub>2</sub> | 45        | 40          | 40          | 50 OU + |
| N <sub>2</sub>  | 569       | 569         | 569         | 569     |
| VAPOR D'ÁGUA    | 47        | 47          | 47          | 47      |
| TOTAL           | 701       | 760         | 756         | 696     |

A PaN<sub>2</sub> = PAN<sub>2</sub> = PN<sub>2</sub>, pois o nitrogênio não é produzido nem consumido

A PaCO<sub>2</sub> = PACO<sub>2</sub>, pois ocorre alta difusão do CO<sub>2</sub>

A PH<sub>2</sub>O é sempre igual, pois 100% dos gases permanecem umidificados

A soma das pressões parciais nem sempre iguala à pressão do ar atmosférico. Isto justifica o vácuo das cavidades observados nos procedimentos cirúrgicos.

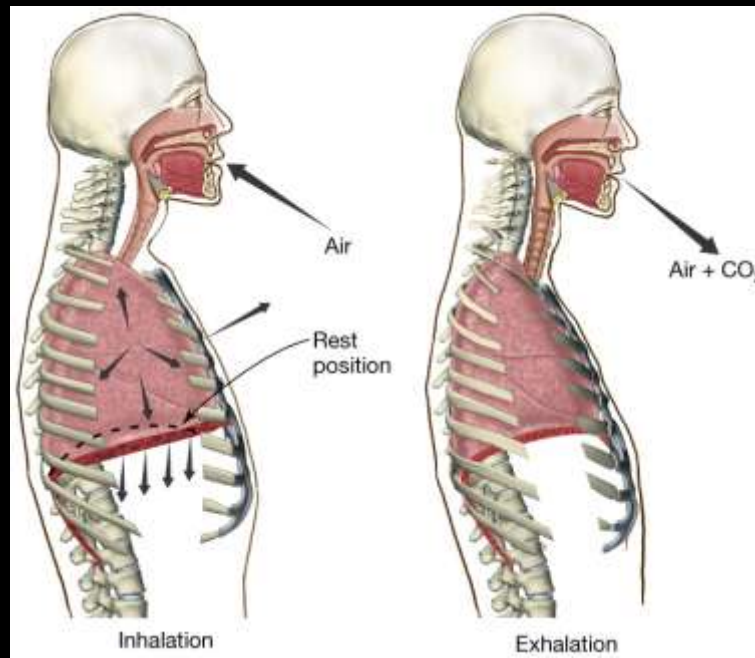
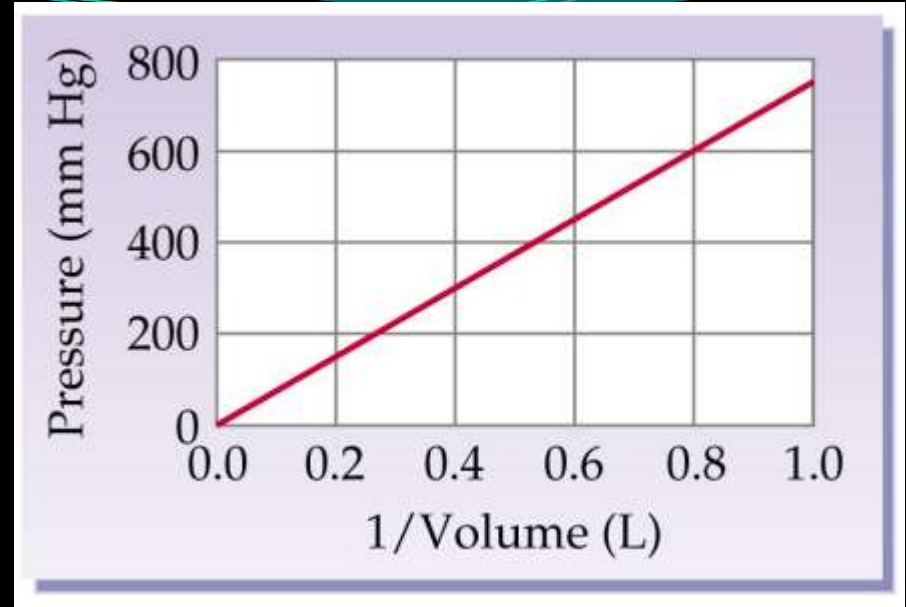
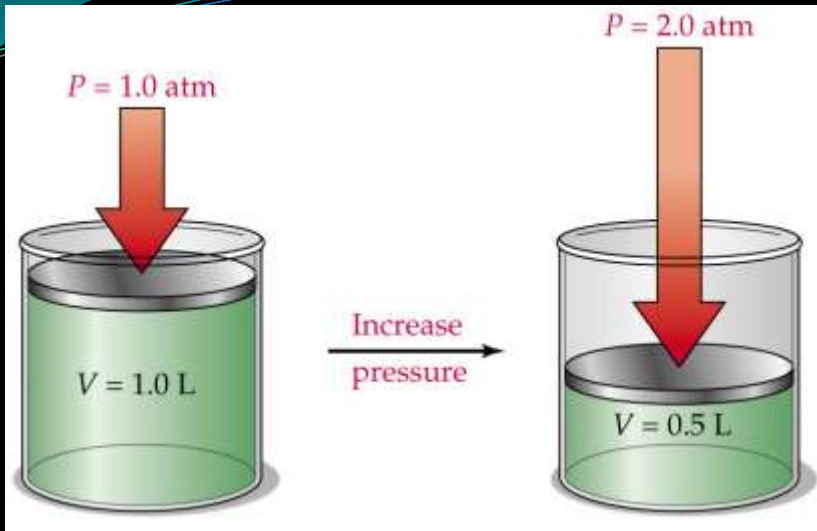


# OUTRAS LEIS IMPORTANTES

LEI DE BOYLE => “O volume do gás varia inversamente com a pressão”

LEI DE CHARLES => “O volume do gás aumenta com a temperatura em situação de pressão constante”

# LEI DE BOYLE - "O volume do gás varia inversamente com a pressão"



# MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

S-4, 5, 6: PULMONARY  
VENTILATION= respiratory

- ✓ **Ciclo respiratório corresponde a um movimento de inspiração e outro de expiração**
- ✓ **Durante a inspiração, o diafragma e os músculos intercostais contraem**
- ✓ **Durante a inspiração, aumenta o volume e diminui a pressão dentro da cavidade torácica e dos pulmões**
- ✓ **A expiração é um processo passivo, pois o diafragma e os músculos intercostais relaxam**
- ✓ **Durante a expiração, diminui o volume e, conseqüentemente, aumenta a pressão dentro da cavidade torácica e dos pulmões**

**Obs: A expiração normalmente tem uma duração correspondente a 1,3 a 1,4 vez a inspiração**

# MÚSCULO RESPIRATÓRIOS

- ✓ São músculos estriados esqueléticos
  
- ✓ Quando comparados com músculos esqueléticos da periferia, apresentam as seguintes características:
  1. Maior resistência à fadiga
  2. Fluxo sanguíneo elevado
  3. Maior capacidade oxidativa
  4. Maior densidade capilar
  
- ✓ O mais importante músculo da inspiração é o diafragma

# TIPOS DE RESPIRAÇÃO

**ABDOMINAL** – Predomina durante a respiração normal, silenciosa. Caracteriza por movimentos visíveis do abdômen causados pela compressão visceral, quando o diafragma se contrai

**COSTAL** – Caracterizada por pronunciada movimentação das costelas e ocorre por respiração dificultada e afecções abdominais dolorosas, gestação e gases

# FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA

É o número de ciclos respiratórios registrados em um minuto e corresponde a um excelente indicador da saúde animal

Ocorrem variações em função da

- ✓ Espécie animal
- ✓ Tamanho corporal
- ✓ Idade
- ✓ Exercício físico
- ✓ Excitação
- ✓ Temperatura ambiente
- ✓ Gestação
- ✓ Estado de saúde (hipotermia e hipertermia)
- ✓ Grau de enchimento do trato digestivo

**Obs: Um boi deitado terá aumento de frequência pois há compressão do diafragma pelo rúmen.**

## FREQÜÊNCIAS RESPIRATÓRIAS DE VÁRIAS ESPÉCIES EM DIFERENTES SITUAÇÕES

| Animal                                           | Condição                       | Variação | Média |
|--------------------------------------------------|--------------------------------|----------|-------|
| Equino                                           | Em estação                     | 10-14    | 12    |
|                                                  | Em estação                     | 26-35    | 29    |
| Vaca Leiteira                                    | Em decúbito esternal           | 24-50    | 35    |
| Bezerro de vaca leiteira<br>(3 semanas de idade) | Em estação                     | 18-22    | 20    |
| Suíno (23 a 27 Kg)                               | Deitado                        | 21-25    | 22    |
|                                                  | Deitado                        | 32-58    | 40    |
| Cão                                              | Dormindo (24°C)                | 18-25    | 21    |
|                                                  | Em estação                     | 20-34    | 24    |
| Gato                                             | Dormindo                       | 16-25    | 22    |
|                                                  | Deitado acordado               | 20-40    | 31    |
|                                                  | Em estação, ruminando,<br>18°C | 20-34    | 25    |
| Carneiro                                         | Iguais condições em 10°C       | 16-22    | 19    |

Fórmula para calcular a Frequência respiratória  $\Rightarrow 70 \times \text{Kg}^{0,25}$  sendo Kg = peso do animal

# PRESSÕES RESPIRATÓRIAS

## PRESSÃO INTRAPULMONAR ou PRESSÃO ALVEOLAR

É a pressão existente nos pulmões e vias aéreas.

- NA INSPIRAÇÃO – torna-se ligeiramente negativa ( -1mmHg) pois a dilatação torácica é mais rápida que o afluxo de ar.
- NA EXPIRAÇÃO – torna-se ligeiramente positiva (+1mmHg) pois o tórax diminui de tamanho e comprime o ar dentro dos alvéolos.

Obs: A pressão intrapulmonar iguala-se rapidamente a pressão atmosférica após o volume torácico estabilizar-se



# PRESSÕES RESPIRATÓRIAS

## PRESSÃO INTRAPLEURAL

- É a Pressão existente no tórax e fora dos pulmões, ou seja, no espaço intrapleural e mediastino
- É sempre negativa, pois a cavidade é fechada e a pressão no interior do organismo é sempre menor que a atmosférica

NA INSPIRAÇÃO – O ar no espaço pleural é comprimido e atinge –  
10mmHg

NA EXPIRAÇÃO – A pressão do ar diminui e a pressão atinge –5mmHg

# PRESSÕES RESPIRATÓRIAS

## PRESSÃO TRANSPULMONAR (Pressão alveolar – pressão pleural)

- ✓ É a diferença de pressão alveolar e as superfícies externas dos pulmões
- ✓ Medida de forças elásticas nos pulmões que tendem a colapsá-los a cada instante (Pressão de recuo)

# TENDÊNCIA AO COLAPSO DOS PULMÕES

Tal tendência é constante pois existem:

- Força de estiramento das fibras elásticas pela insuflação do pulmão.
- Tensão superficial do revestimento líquido dos alvéolos.(Atração de moléculas iguais existentes na superfície do alvéolo)
- Lei de Laplace  $\Rightarrow P = 2T/r$  , onde  $P =$  pressão,  $T =$  Tensão e  $r =$  raio Após a expiração o raio do alvéolo é pequeno, isso significa uma maior necessidade de força para iniciar uma inspiração. A substância surfactante minimiza este efeito.

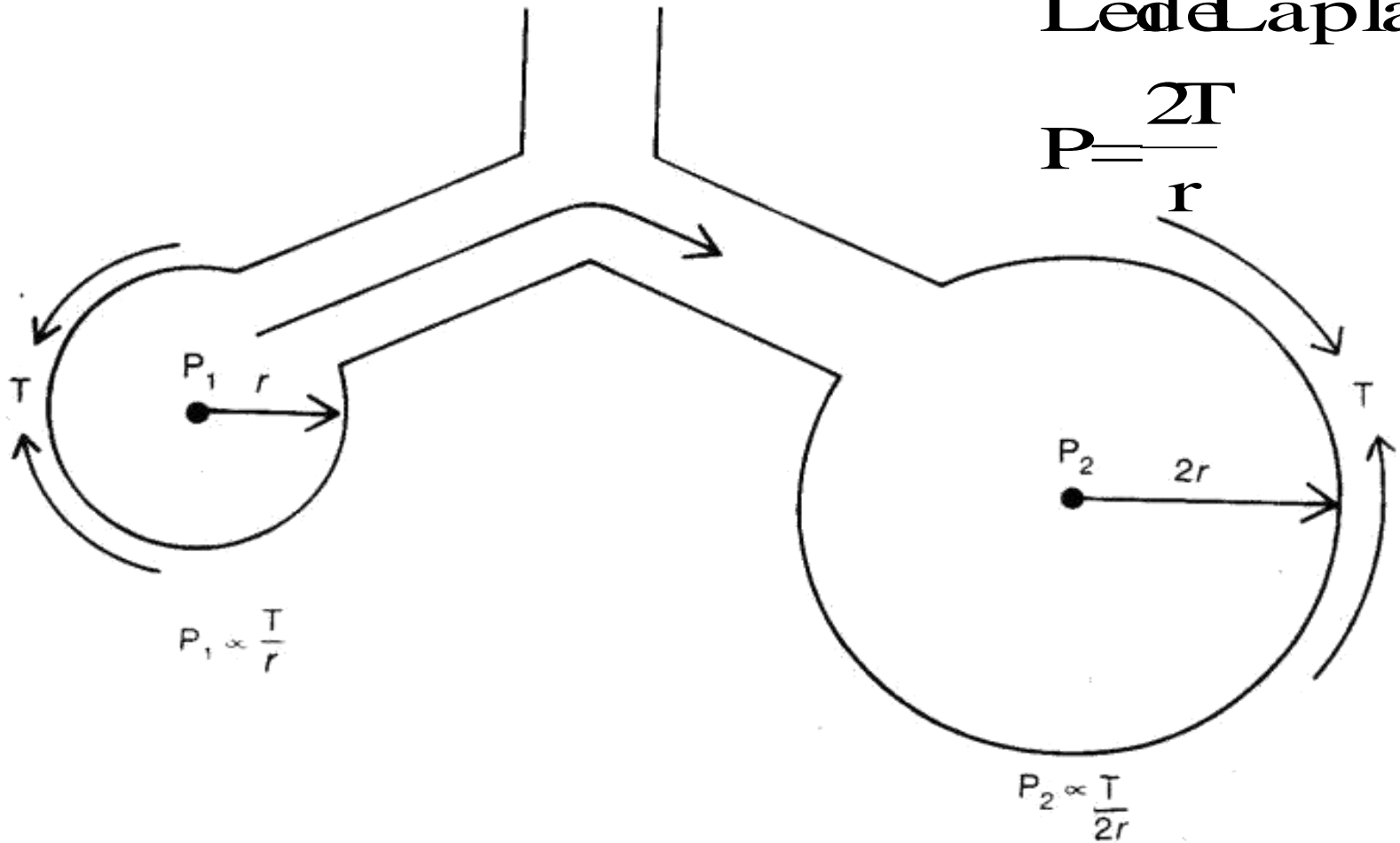
## EFEITO MINIMIZADOR!!!

Substância Surfactante – lipoproteína (proteína complexa sendo 30% ptn e 70% lipídio – dipalmitoil-lecitina) que tem pouca atração entre as moléculas de água e suas próprias moléculas diminuindo com isso a tensão superficial

# ESTABILIDADE DAS UNIDADES PULMONARES

Lei de Laplace

$$P = \frac{2T}{r}$$



# CONSIDERAÇÕES CLÍNICAS

## SÍNDROME UIVANTE

=> baixa produção de surfactantes, que ocorre em eqüinos e suínos jovens.

Sintomas: Gemido expiratório, dispnéia e cianose.

## PNEUMOTÓRAX

=> É a condição patológica em que ocorre entrada de ar no espaço pleural e impede a expansão dos pulmões e leva a asfixia

# IMPORTÂNCIA DA PRESSÃO

- ✓ No espaço mediastino estão a cava e o ducto torácico
- ✓ O aumento da pressão negativa durante a inspiração auxilia o fluxo venoso e linfático para o coração



# IMPORTÂNCIA DA PRESSÃO

✓ Na regurgitação dos ruminantes. Inspirando com a glote fechada favorece a entrada de massa ruminal para o esôfago pois aumenta a pressão negativa no mediastino



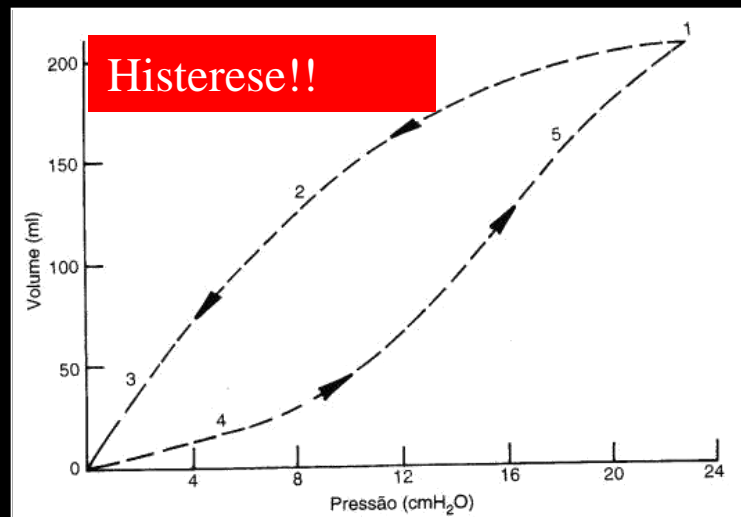
# OUTROS FATORES QUE AFETAM A VENTILAÇÃO

- ✓ COMPLACÊNCIA PULMONAR
- ✓ CONSUMO METABÓLICO DA RESPIRAÇÃO
- ✓ RESISTÊNCIA AO FLUXO DE AR



# COMPLACÊNCIA

- ✓ É a medida de distensibilidade dos pulmões e tórax
- ✓ É determinada pela medição do volume pulmonar para cada unidade de alteração de pressão
- ✓ A unidade-padrão é em mililitros por centímetro quadrado
- ✓ A inflação do pulmão (inspiração) segue uma curva durante a deflação, como faz durante a inflação, é denominada histerese



$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

# COMPLACÊNCIA

✓ Em pulmões distensíveis, a complacência é grande (pequena pressão é capaz de gerar inflação do pulmão)

✓ Em pulmões rígidos, a complacência é pequena (grande pressão é capaz necessária para inflação do pulmão)

Ex: Fibrose, edema etc

✓ A complacência é determinada pelas forças elásticas dos pulmões (tecido pulmonar e tensão superficial do líquido que reveste a parede interna dos alvéolos)

✓ As forças elásticas do tecido pulmonar são determinadas principalmente pelas fibras de elastina e colágeno entrelaçada parênquima pulmonar

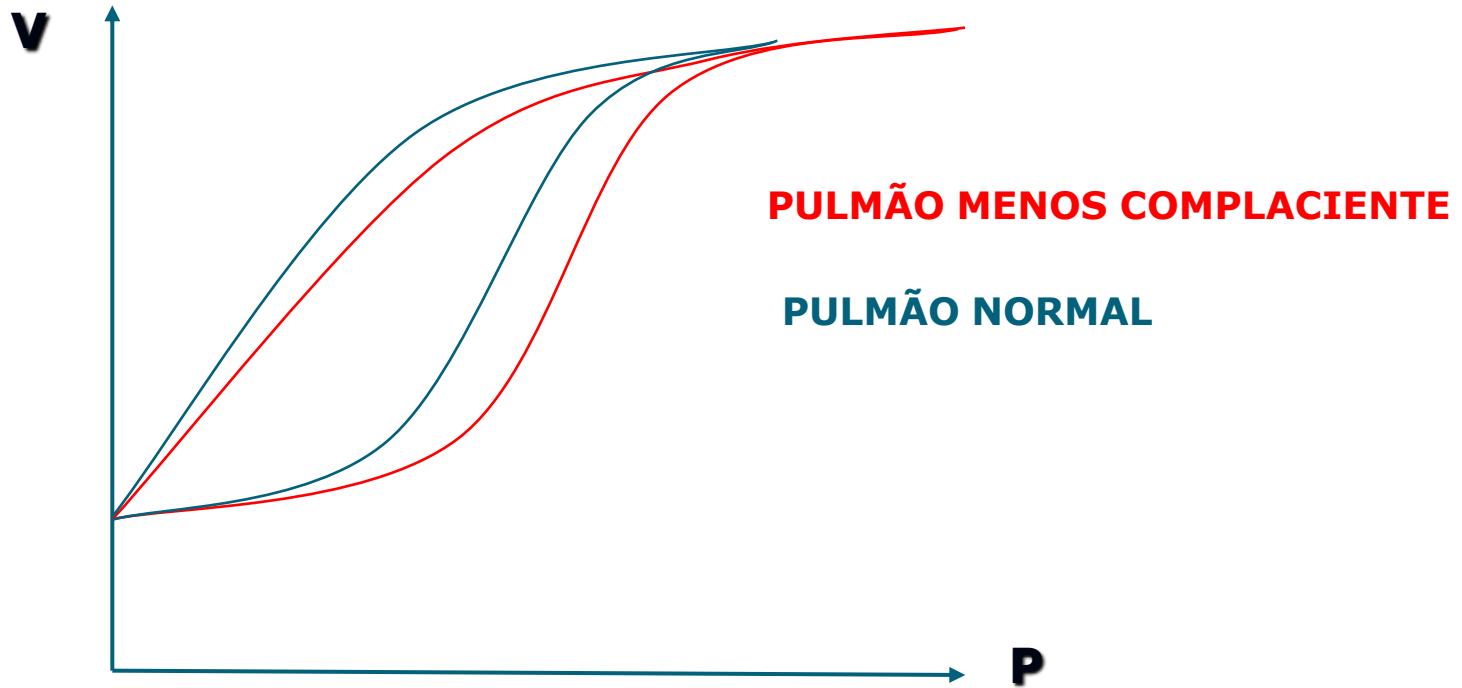
$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

# FATORES QUE AFETAM A COMPLACÊNCIA

- **IDADE DO PACIENTE**
- **ALTERAÇÕES NA PAREDE TORÁCICA**
- **EDEMA PULMONAR**
- **REAÇÕES INFLAMATÓRIAS**
- **DEFICIÊNCIA DE SURFACTANTE**
- **FIBROSE PULMONAR**

# CURVA P X V

**SERVE PARA AVALIAR AS PROPRIEDADES ELÁSTICAS DO SISTEMA RESPIRATÓRIO**



# CONSUMO METABÓLICO DA RESPIRAÇÃO

- ✓ É o gasto de energia necessário à respiração para superar:
  1. As forças de tensão superficial e elástica
  2. As forças não elásticas (re-organização dos tecidos)
  3. Resistência das vias aéreas e garantir a expansão pulmonar

**Ex: Fibrose ou falhas do surfactante afetam os dois primeiros itens**

- ✓ As doenças respiratórias aumentam o consumo de energia

# RESISTÊNCIA AO FLUXO DE AR

- ✓ É um dos fatores associados ao trabalho de respiração.
- ✓ A resistência é maior durante a expiração pois durante a inspiração a expansão dos pulmões ajuda na maior abertura das vias aéreas

- ✓ Lei de Poiseuille:

$n$  = coeficiente de viscosidade

$l$  = comprimento do tubo

$r$  = raio do tubo

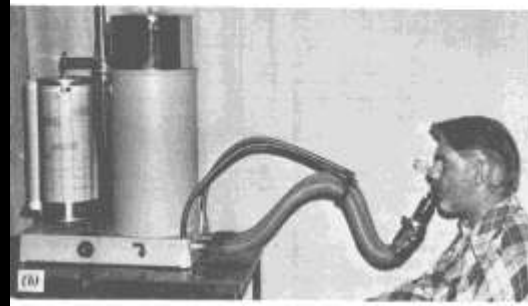
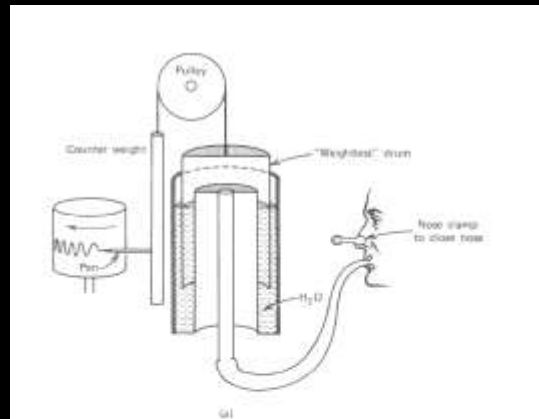
$$\text{Resistência} = \frac{8nl}{\pi r^4}$$

Ex1: Se o comprimento for aumentado quatro vezes, a pressão deverá ser aumentada quatro vezes, para manter o fluxo aéreo constante

Ex2: Se o raio do tubo for reduzido a metade, a pressão deverá ser aumentada 16 vezes, para manter o fluxo constante

# VOLUMES PULMONARES E CAPACIDADES PULMONARES

- ✓ Ventilação pulmonar e o influxo e o efluxo de ar entre atmosfera e os alvéolos pulmonares
- ✓ O método simples de estudar a ventilação pulmonar e registrar o movimento do volume de ar para dentro e para fora dos pulmões, um processo chamado de espirometria



# VOLUMES PULMONARES E CAPACIDADES PULMONARES

✓ Para facilitar a descrição dos eventos da ventilação pulmonar, o ar nos pulmões foi subdividido em quatro volumes e quatro capacidades

1. VOLUME RESIDUAL OU DE RESERVA
2. VOLUME DE RESERVA INSPIRATÓRIO
3. VOLUME DE RESERVA EXPIRATÓRIO
4. VOLUME RESPIRATÓRIO OU CORRENTE
5. CAPACIDADE PULMONAR TOTAL
6. CAPACIDADE VITAL
7. CAPACIDADE INSPIRATÓRIA
8. CAPACIDADE RESIDUAL FUNCIONAL

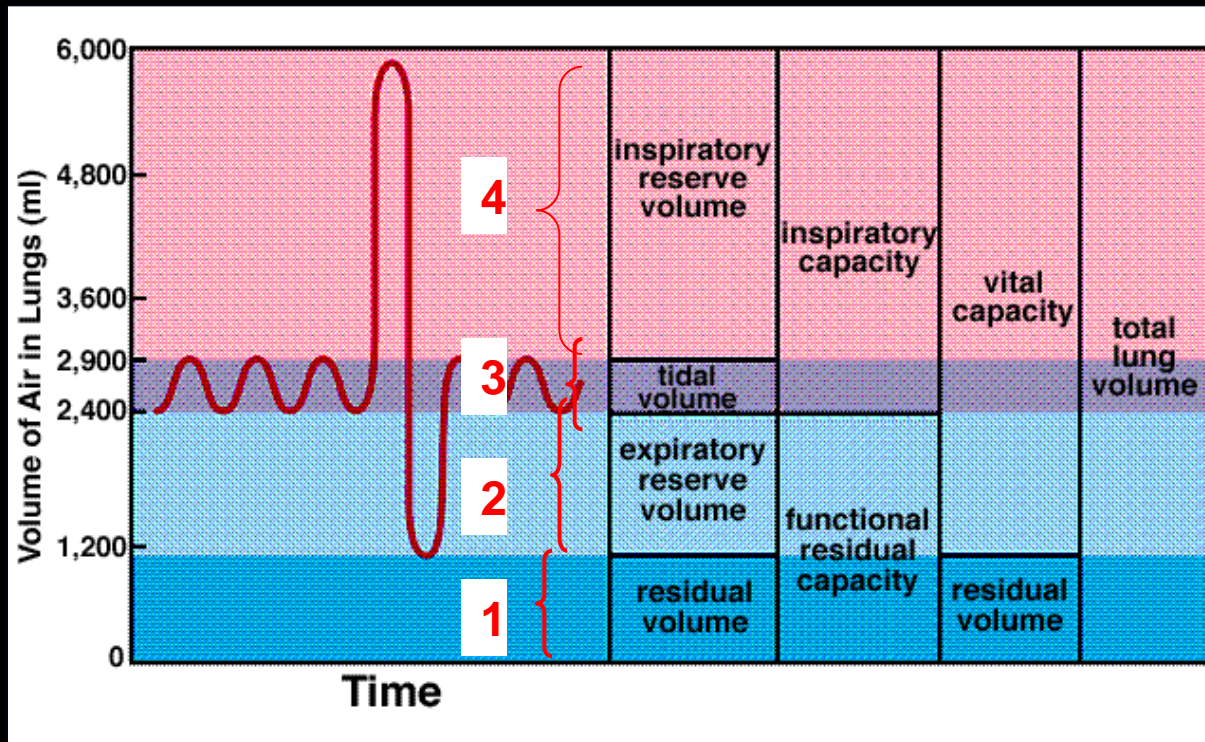


# VOLUMES PULMONARES

1. **VOLUME RESIDUAL OU DE RESERVA** => volume de ar que permanece nos pulmões mesmo após expiração forçada
2. **VOLUME DE RESERVA EXPIRATÓRIO** => volume de ar que pode ser exalado após a expiração
3. **VOLUME DE RESERVA INSPIRATÓRIO** => volume de ar que pode ser inalado após a inspiração
4. **VOLUME RESPIRATÓRIO OU CORRENTE** => volume de ar que entra e sai dos pulmões durante o ciclo respiratório

# MECÂNICA VENTILATÓRIA: ESTÁTICA

## VOLUMES E CAPACIDADES PULMONARES

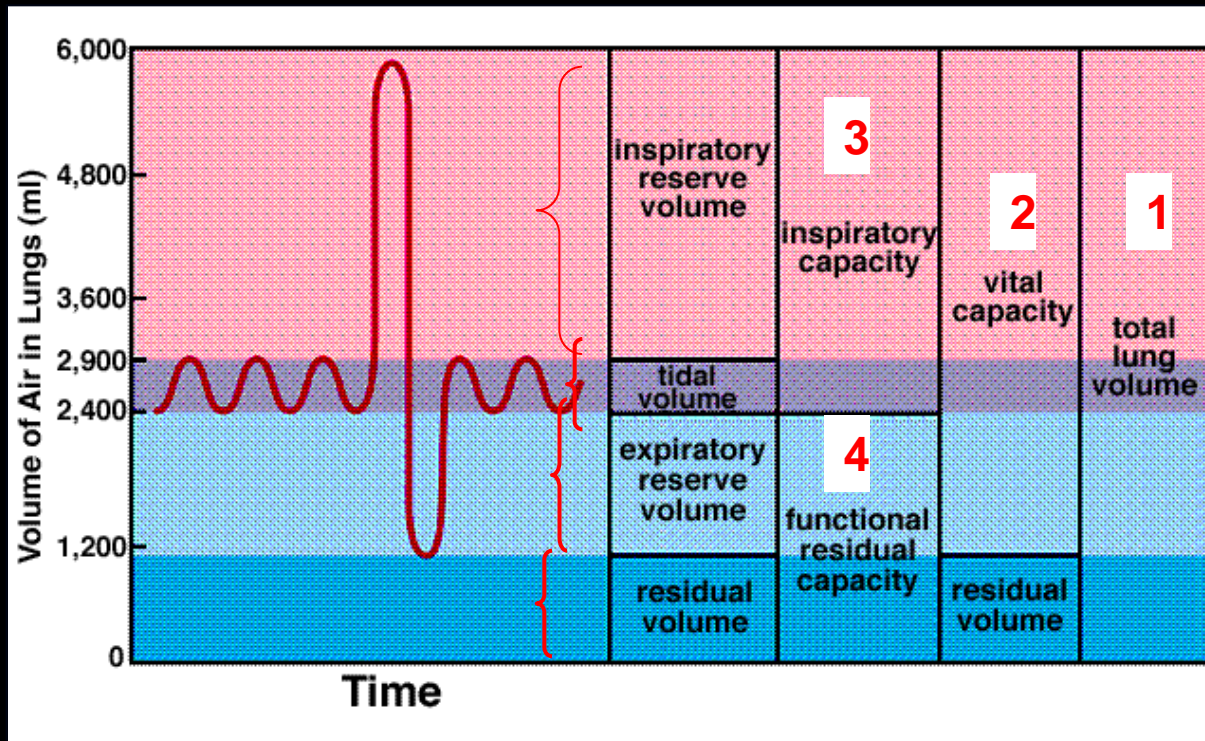


# CAPACIDADES PULMONARES

1. **CAPACIDADE PULMONAR TOTAL** => é a soma de todos os volume
2. **CAPACIDADE VITAL** => soma de todos os volumes com exceção do volume residual. É a quantidade de ar que pode ser trocada entre os pulmões e o exterior através de uma inspiração forçada seguida de uma expiração forçada
3. **CAPACIDADE INSPIRATÓRIA** => É a quantidade de ar que pode ser inspirada após a expiração
4. **CAPACIDADE RESIDUAL FUNCIONAL** => é quantidade ar remanescente no pulmão após a expiração, corresponde ao volume residual mais o volume de reserva expiratório. Ou ainda, cerca de 40% da Capacidade Pulmonar

# MECÂNICA VENTILATÓRIA: ESTÁTICA

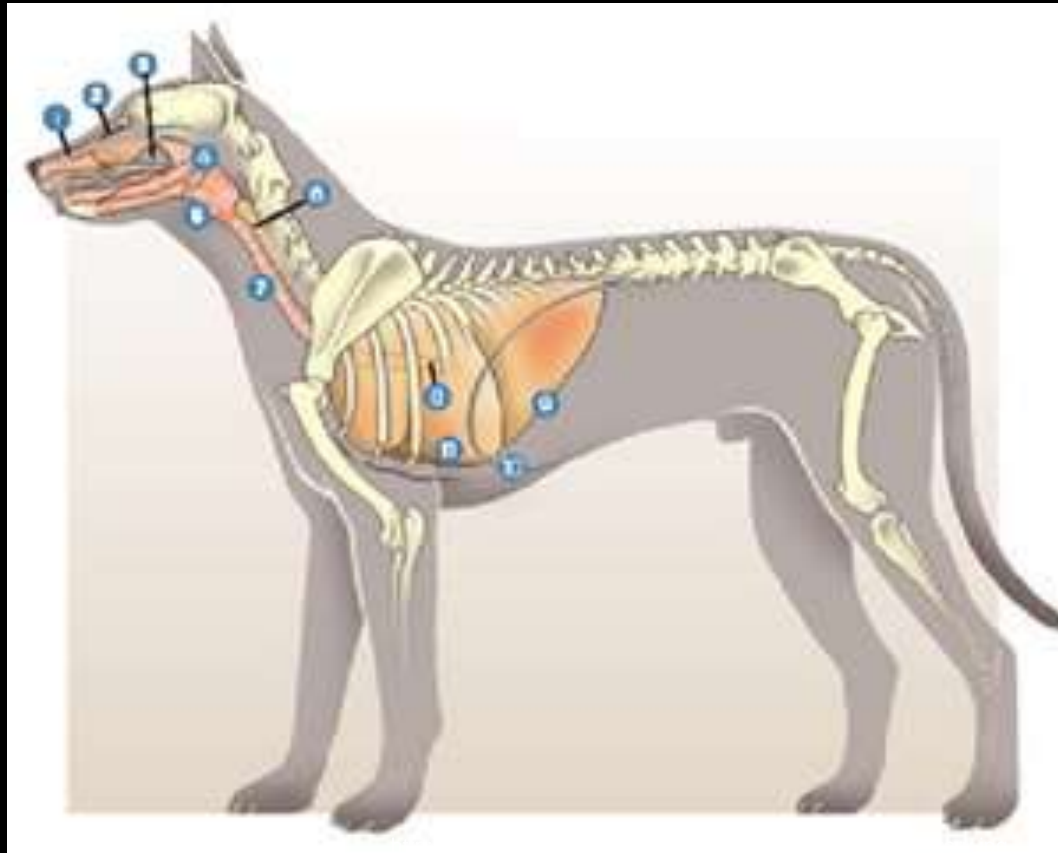
## VOLUMES E CAPACIDADES PULMONARES



# VENTILAÇÃO PULMONAR

## VIAS DE CONDUÇÃO AÉREA

Fossas Nasais e Cavidade oral → Faringe → Laringe → Traquéia → Brônquios → Bronquíolos



1. Nasal cavity
2. Frontal sinus
3. Naris
4. Pharynx
5. Larynx
6. Oesophagus
7. Trachea
8. End of trachea
9. Basal margin of left lung
10. Projection of the diaphragm
11. Left lung

Todos os animais usam a boca e narinas com exceção do cavalo que usa somente as narinas.

# VENTILAÇÃO PULMONAR

## ESPAÇO MORTO RESPIRATÓRIO

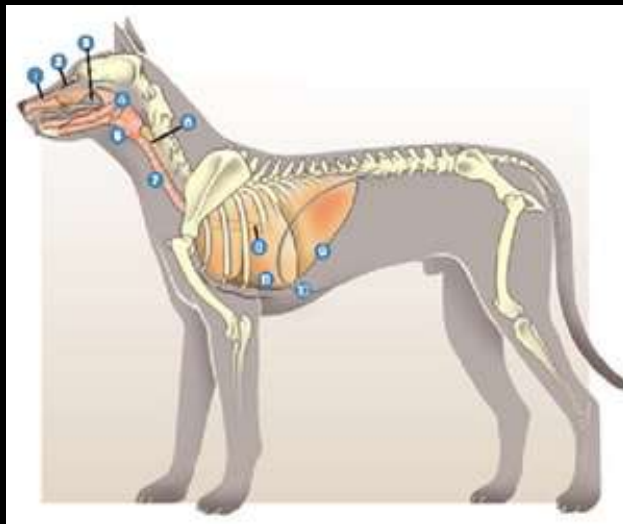
É o espaço existente nas vias aéreas onde não há difusão de gases.

É a porção das vias aéreas sem epitélio respiratório.

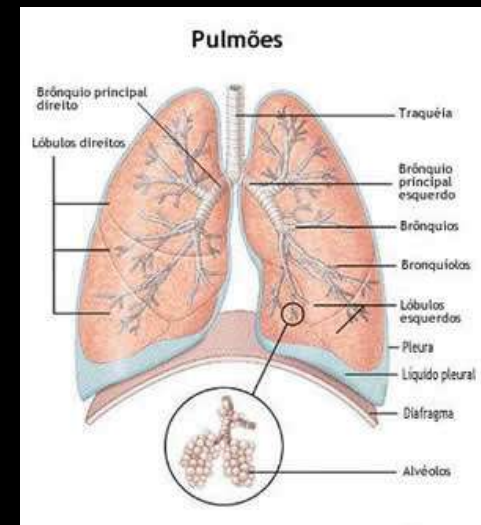
FUNÇÕES => Conduzir o ar, Aquecer, Umectar, Depurar, Produzir som (Laringe), Captar as substâncias odoríferas

## ESPAÇO MORTO FISIOLÓGICO

É o espaço morto anatômico acrescido do espaço alveolar que não faz troca gasosa por colapamento dos espaços arteriais que só são utilizados para trocas durante exercícios mais intensos ou outra necessidade maior de ventilação pulmonar.



<http://www.caninehealthnutrition.com/images/lowerrespiratory.jpg>



<http://p.uol.com.br/licadecasa/ensfundamental/ciencias/pulmoesh.jpg>

# TIPOS DE VENTILAÇÃO

VENTILAÇÃO - É a troca de gases em um ambiente fechado

VENTILAÇÃO PULMONAR - É o processo de trocas gasosas nas vias aéreas e alvéolos com gases vindos do ambiente

VENTILAÇÃO ALVEOLAR - É o volume de ar que entra e sai dos alvéolos num dado período de tempo

VENTILAÇÃO DO ESPAÇO MORTO - É o volume de ar que entra e sai sem tomar parte nas trocas gasosas, num dado período de tempo.

**VENTILAÇÃO TOTAL (VT) = VENTILAÇÃO ALVEOLAR (VA) + VENTILAÇÃO DO ESPAÇO MORTO (VD)**

EX: Cão de 13 KG anestesiado com FR= 10, VT = 170 mL e VD = 85 mL

Qual a taxa de ventilação alveolar ????

$$VA = VT - VD == 170 - 85 == VA = 85 == 85 \times 10 == 850 \text{ mL/min}$$

OBS: Normoventilação =  $P_A\text{CO}_2 = 40 \text{ mmHg}$ , Hipoventilação =  $P_A\text{CO}_2 > 40 \text{ mmHg}$  e

Hiperventilação =  $P_A\text{CO}_2 < 40 \text{ mmHg}$

## POLIPNÉIA ou OFEGO

É a ventilação do espaço morto que permite a animais tais como cães, aves e suínos regularem a temperatura corporal.

Não há aumento da ventilação Pulmonar, há aumento da frequência respiratória de modo tal que a ventilação alveolar permanece constante

Segundo Cunningham (1999) na polipnéia observa-se um pequeno volume corrente e uma rápida frequência respiratória fazendo com que mais ar ventile o espaço morto dos bovinos, suínos e asininos quando submetidos ao estresse calórico.

Obs\* No estresse pelo frio ocorre aumento da ventilação alveolar e diminuição da ventilação do espaço morto aumentando o volume corrente e diminuindo a frequência respiratória. O aumento da ventilação alveolar é necessário pois sob efeito do frio ocorre aumento do consumo de O<sub>2</sub> e aumento da produção de CO<sub>2</sub> pela taxa metabólica mais alta necessária para manter a temperatura corporal



## RONRONAR

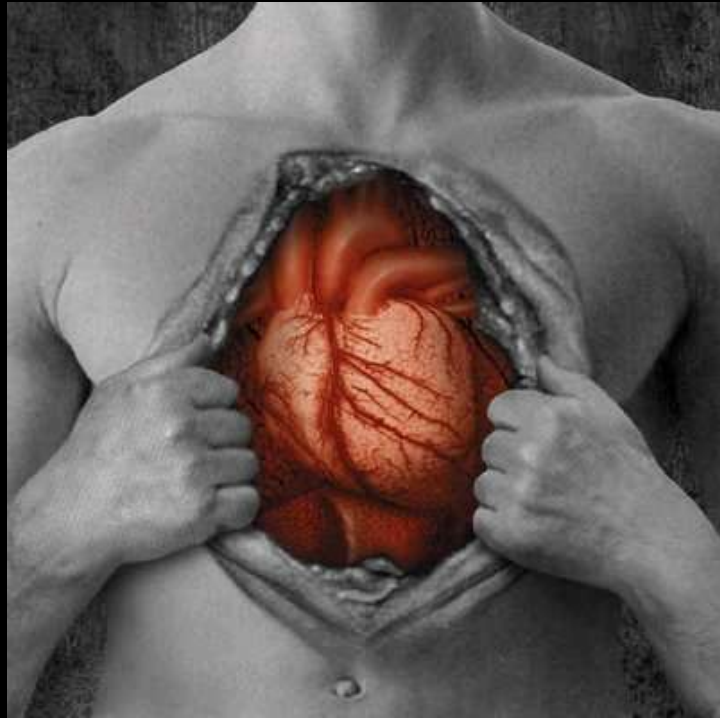
Trata-se de um som característico dos felinos resultante da contração alternada e altamente regular do diafragma e músculos laríngeos fazendo vibrar as cordas vocais.

Ocorre tanto durante a inspiração quanto expiração.

Freqüência das contrações = 25 vezes por segundo

Razão ??? talvez seja uma respiração complementar

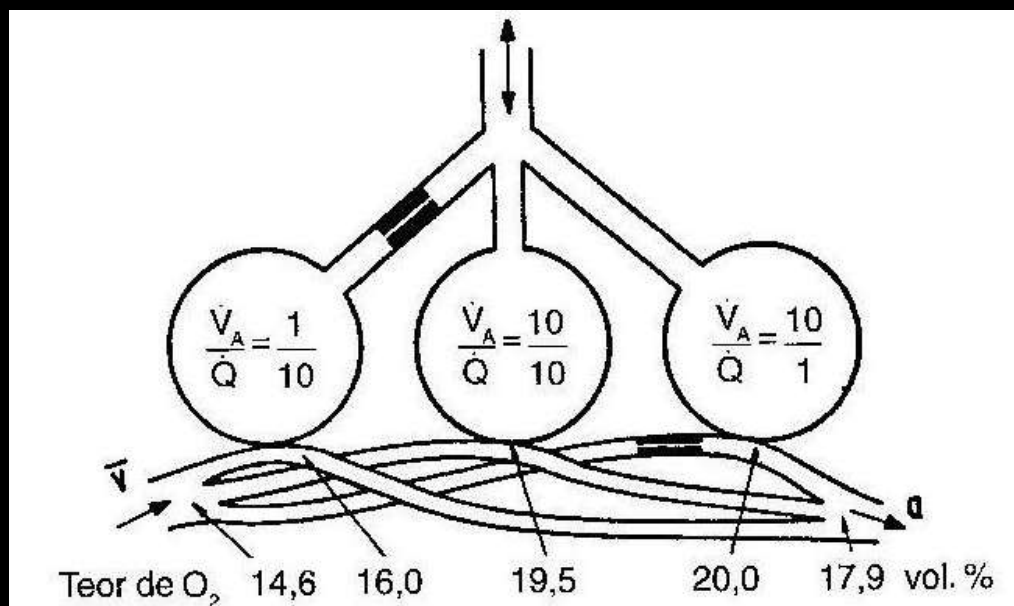
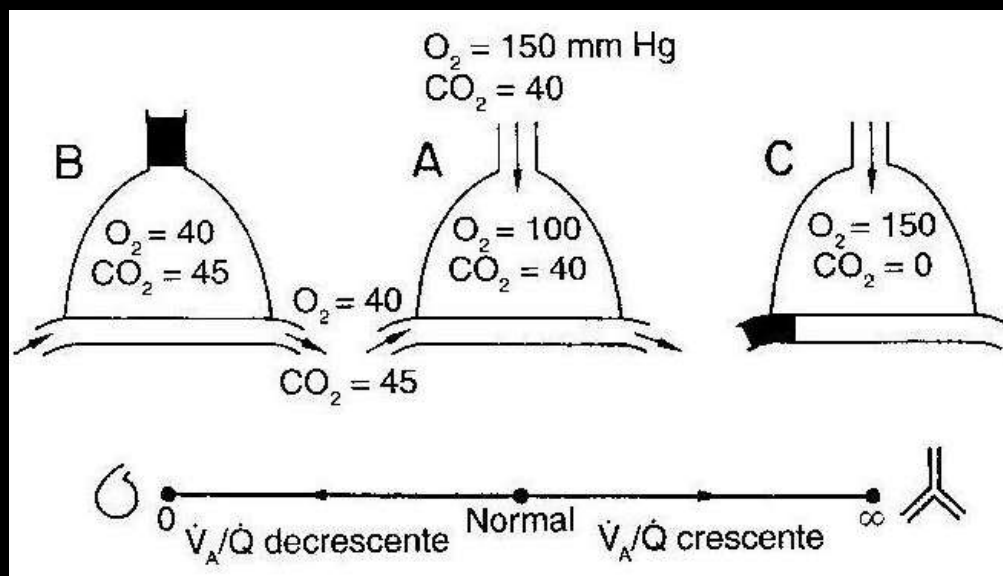




# RELACÕES ENTRE A VENTILAÇÃO E A PERFUSÃO

- ✓ As pressões parciais do O<sub>2</sub> e do CO<sub>2</sub> no sangue estão relacionadas não apenas à ventilação alveolar como também à quantidade de sangue que perfunde os alvéolos
- ✓ Esta relação é conhecida como relação ventilação/perfusão ( $V_A/Q$ )  
Ex:  $V_A/Q$  baixa = ventilação declinou,  $V_A/Q$  alta = ventilação excedendo a perfusão
- ✓ Nos animais em repouso e na posição em estação, as faces dorsais possuem relação  $V_A/Q$  alta e as faces ventrais possuem relação  $V_A/Q$  baixa

# RELACÕES ENTRE A VENTILAÇÃO E A PERFUSÃO



# VASOCONSTRICÇÃO HIPÓXICA

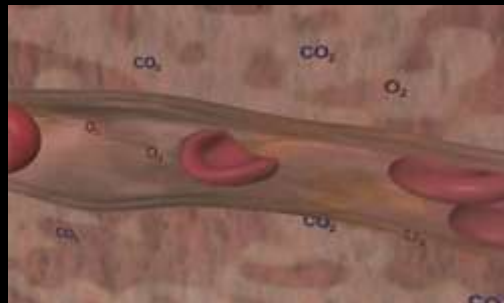
- ✓ Quando a  $PO_2$  do gás alveolar é reduzida, as células musculares lisas nas paredes das pequenas arteríolas contraem-se na região hipóxica
- ✓ Direciona o fluxo de sangue das regiões hipóxicas no pulmão para regiões que apresentam oxigenação adequada
- ✓ Resposta ativada pela  $PO_2$  do gás alveolar, e não pela  $PO_2$  do sangue arterial pulmonar
- ✓ Vasoconstricção pulmonar generalizada causa aumento na pressão arterial pulmonar e aumento do trabalho do lado direito do coração

Ex: Animais criados em altas altitudes

**Obs: Bovinos e frangos são espécies mais responsivas**

# TRANSPORTE DE OXIGÊNIO

- ✓ 98% do sangue que entra no átrio esquerdo é proveniente dos pulmões
- ✓ 2% restantes vem da circulação brônquica
- ✓ 97% do oxigênio transportado dos pulmões para os tecidos e transportado ligado a hemoglobina nas hemácias
- ✓ 3% do oxigênio transportado em estado dissolvido na água do plasma
- ✓ **Sob condições normais, o oxigênio é transportado para os tecidos quase inteiramente pela hemoglobina**



# HEMOGLOBINA



- ✓ É o pigmento vermelho do sangue
- ✓ Consiste em uma proteína e um pigmento denominado heme (contém átomo de ferro)
- ✓ Componente protéico é composto de quatro cadeias polipeptídicas (globina), cada uma contendo um heme (total de 4 heme)
- ✓ Contém quatro átomos de ferro e pode transportar quatro moléculas de oxigênio



# ESQUEMA GERAL DO TRANSPORTE DE OXIGÊNIO

- ✓ A quantidade de oxigênio em solução está diretamente relacionada a  $P_{aO_2}$  e ao coeficiente de solubilidade do  $O_2$  (lei de Henry)
- ✓ O  $O_2$  é relativamente solúvel em todas membransa, mas é muito menos que o  $CO_2$
- ✓ O  $O_2$  é recebido e fornecido pela hemoglobina conforme influenciado pela  $P_{aO_2}$  circundante (Ex: Quando a  $P_{aO_2}$  é alta (capilares pulmonares), o  $O_2$  se liga a hemoglobina e quando é baixa (capilares teciduais), o  $O_2$  é liberado da hemoglobina)

**Obs; O último  $O_2$  a entrar em solução a partir do alvéolo é o primeiro a ser liberado para as células**



# ASPECTOS QUANTITATIVOS

✓ Solubilidade do  $O_2 = 0,003$  mL seja dissolvido em cada 100 mL de sangue para cada mmHg

Ex:  $PaO_2$  de 100 mmHg = 0,3 mL de  $O_2$  dissolvido em 100 mL

✓ Em cada grama de hemoglobina, o volume de oxigênio combinado é 1,34 mL

Ex: Paciente normal com 15 g/dL e a hemoglobina estiver 100% saturada. Quantidade de  $O_2 = 15 \times 1,34 \times 1 = 20$  mL em 100 mL de sangue

Obs: A hemoglobina absorve o  $O_2$  (remove-o da solução) e fica virtualmente saturada, quando a  $PaO_2$  é de 100 mmHg

Ex: Quando total de oxigênio ( $CaO_2$ ) por 100 mL = 0,3 mL + 20 mL = 20,3 mL

# ASPECTOS QUANTITATIVOS

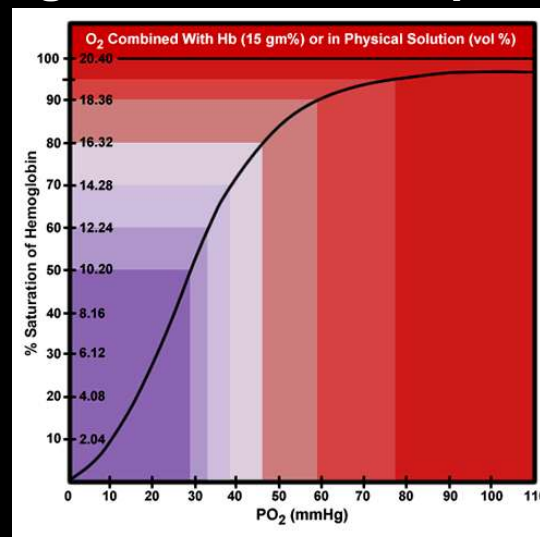
✓ Quantidade de O<sub>2</sub> no sangue arterial (CaO<sub>2</sub>)

$CaO_2 = PaO_2 \times 0,003$  (oxigênio solubilizado) + 1,34 x saturação x hemoglobina (g/dL)

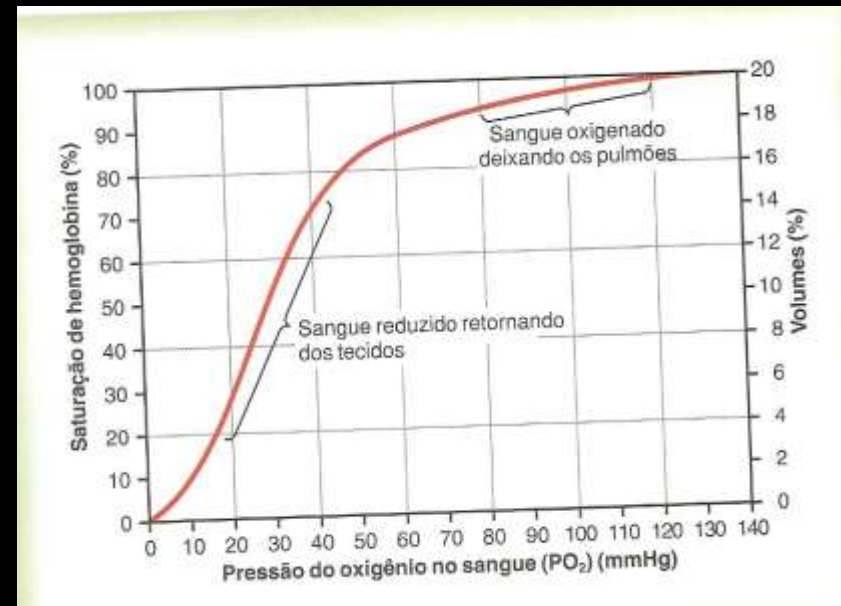
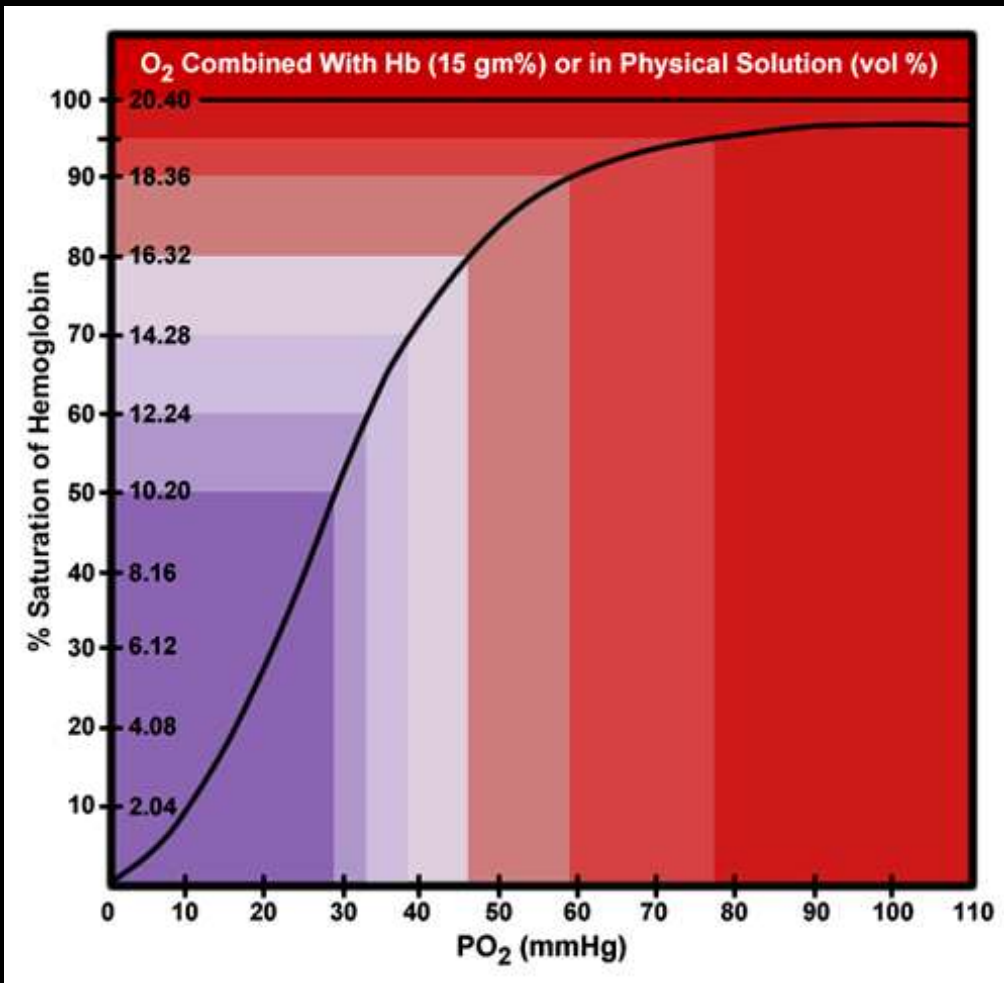
**Obs: Se a hemoglobina não estivesse presente, usaria 66,3 vezes mais sangue para transportar a mesma quantidade de O<sub>2</sub>**

# CURVA DE DISSOCIAÇÃO DA HEMOGLOBINA

- ✓ A captação e a liberação do oxigênio da hemoglobina são descritas melhor pela curva de dissociação oxigênio-hemoglobina
- ✓ Condições diferentes alteram o equilíbrio da reação entre a hemoglobina e o oxigênio, para formar a oxihemoglobina
- ✓ Curva desviada para direita = afinidade decrescente da hemoglobina pelo oxigênio (mais oxigênio é fornecido para cada redução na  $\text{PaO}_2$ )
- ✓ Curva desviada para esquerda = afinidade aumentada da hemoglobina pelo oxigênio (menos oxigênio é fornecido para cada redução na  $\text{PaO}_2$ )



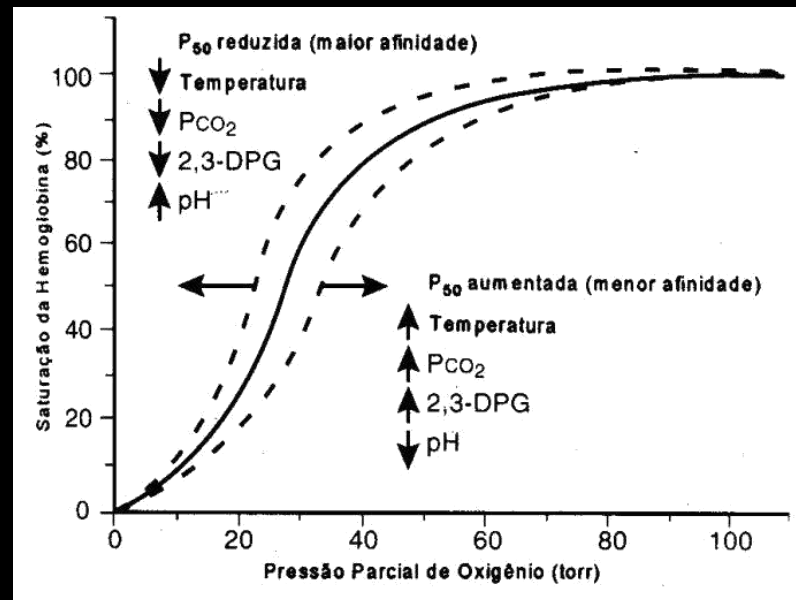
# CURVA DE DISSOCIAÇÃO DA HEMOGLOBINA OXIGÊNIO



# CURVA DE DISSOCIAÇÃO DA HEMOGLOBINA

✓ Fatores que alteram a afinidade da hemoglobina ao oxigênio:

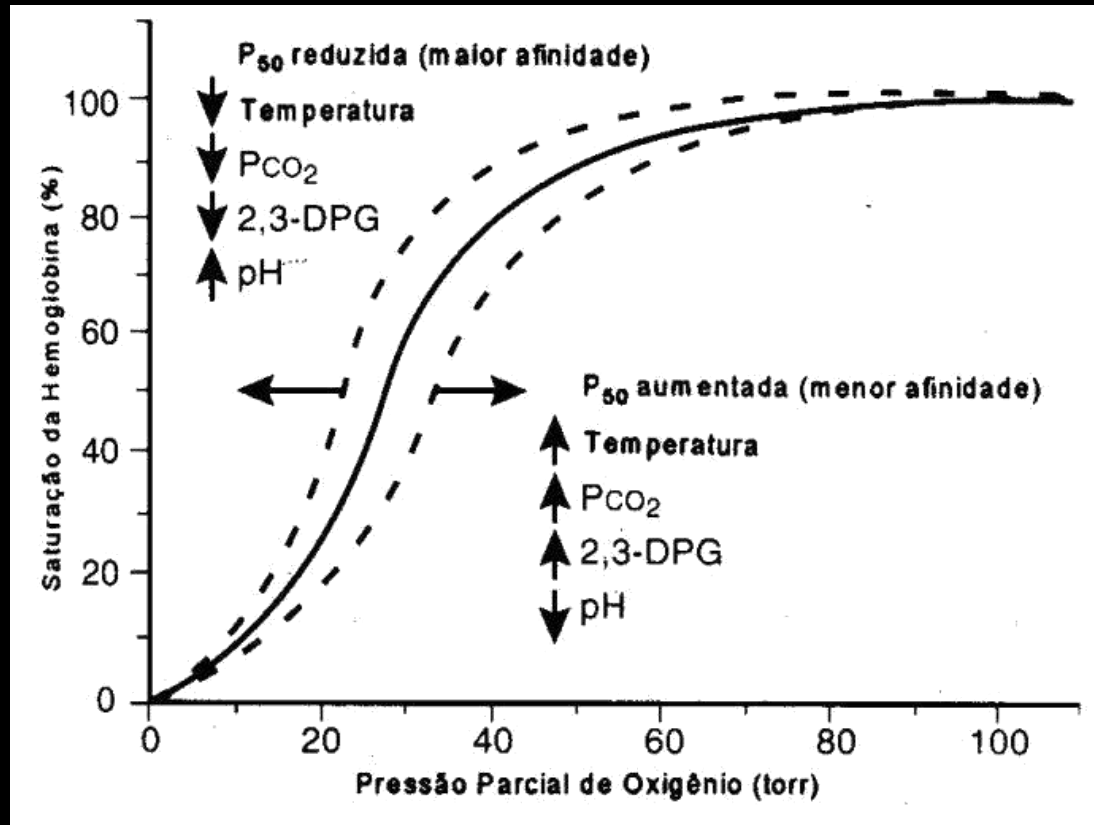
1. pH
2. Temperatura
3. Dióxido de carbono
4. Concentração de 2,3-difosfoglicerato



# TRANSPORTE DOS GASES NO SANGUE

## OXIGÊNIO

### ➤ CURVA DE DISSOCIAÇÃO DA HEMOGLOBINA



# TRANSPORTE DE DIÓXIDO DE CARBONO

- ✓ Mesmo em condições anormais, o  $\text{CO}_2$  normalmente pode ser transportado em quantidade bem maiores do que o oxigênio (20x mais solúvel)
- ✓ A quantidade de  $\text{CO}_2$  tem muito a ver com o equilíbrio ácido-base dos líquidos corporais
- ✓ Ocorre no plasma ( 7 a 10% ) e nas hemácias (90 a 93%)
- ✓ As formas químicas de transporte no plasma são:
  1. Estado dissolvido
  2. Combinado a grupos amino terminais das proteínas (carbamino)
  3. Hidratado para formar produtos de ionização do ácido carbônico

OBS\* Existem poucos radicais aminas livres no plasma e pouca anidrase carbônica

# TRASPORTE DE DIÓXIDO DE CARBONO





# TRANSPORTE DE DIÓXIDO DE CARBONO

✓ As formas químicas de transporte nas hemácias são:

1. Combinado a grupos amino terminais das proteínas (carbamino) (23%)
2. Hidratado para formar produtos de ionização do ácido carbônico (70%)

**OBS\* A hemácia é rica em anidrase carbônica e a hemoglobina é rica em grupos aminos terminais que favorece a formação de carbaminos**

✓ O ácido carbônico formado ioniza-se, para produzir íons de hidrogênio e bicarbonato

✓ Os produtos de ionização são removidos pelo tamponamento dos íons de hidrogênio pela hemoglobina e pela difusão dos íons do bicarbonato, para o plasma (troca com cloro)

# RESUMO DO TRANSPORTE DOS GASES NOS PULMÕES E NOS TECIDOS

- ✓ A hemoglobina oxigenada é mais ácida e, portanto, libera íons de hidrogênio
- ✓ Esses íons de hidrogênio combinam-se com íons de bicarbonato (troca com cloro – sai da célula), para formar o ácido carbônico, desidratado a  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$
- ✓ A perda de  $\text{O}_2$  da hemoglobina nos capilares tissulares torna a hemoglobina mais básica, e os íons hidrogênio são recebidos, facilitando a reação de hidratação e liberação de  $\text{O}_2$  para os tecidos

# CONTROLE DA RESPIRAÇÃO

## 1 – INTRODUÇÃO

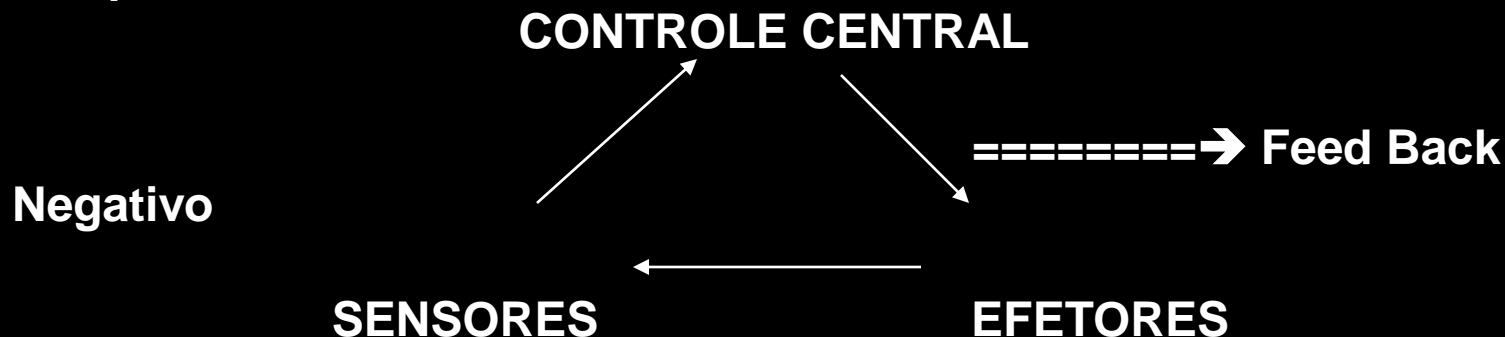
"COMO AS TROCAS GASOSAS SÃO REGULADAS"

Três elementos básicos constituem o sistema de controle Respiratório:

1° - OS SENSORES - coletam as informações de PCO<sub>2</sub> e PO<sub>2</sub>

2° - O CONTROLE CENTRAL - coordena as informações e atuam sobre os efetores

3° - OS EFETORES - executam ações que visam controlar o desequilíbrio das pressões



# CONTROLE CENTRAL

**NO TRONCO CEREBRAL - encontram-se 3 centros nervosos controladores da respiração.**

**CENTRO RESPIRATÓRIO BULBAR - Na formação reticular do bulbo  
Apresenta Área Inspiratória (dorsal) e Área Expiratória (ventral) – expiração forçada**

**CENTRO PNEUMOTÁXICO - na porção superior da Ponte  
Atua excitando a área expiratória**

**CENTRO APNÉUSTICO  
Atua "desligando" a inspiração pois inibe a área inspiratória**

**NO CORTEX CEREBRAL**

**=> Existem centros que capacitam a "voluntariedade limitada da respiração.**

**EM OUTRAS PARTES DO S.N.C.**

**=> Existem no Sistema límbico e Hipotálamo centros capazes de influir no ritmo respiratório nas emoções de medo e raiva.**

# EFETORES

**São os músculos respiratórios**

**=> Diafragma**

**=> Intercostais**

**=> Abdominais**

**=> músculos acessórios como o Esternocleidomastoideo**

## **SINDROME DA MORTE INFANTIL SÚBITA**

**Acredita-se que ocorra por descoordenação dos músculos torácicos e abdominais. Enquanto um trabalha inspirando o outro trabalha expirando**

# SENSORES

**QUIMIORRECEPTORES** – é um receptor sensível a variação da composição química do sangue ou líquido ao seu redor

Divididos em:

**CENTRAIS** - Localizados no Bulbo e sensíveis ao aumento de  $H^+$  (pH associado com níveis de  $CO_2$  no fluido cerebrospinal no quarto ventrículo)

Obs: Fazem sianpse diretamente com os centros respiratórios e o  $CO_2$  é fator mais importante no controle da frequência e profundidade da respiração

**PERIFERICOS** - Localizados nos CORPOS CAROTÍDEOS e ARCO AÓRTICO

São sensíveis a baixa da  $PO_2$ , principalmente, e também ao aumento da  $PCO_2$  e à baixa do pH

# SENSORES

**Ex: Quando ocorre aumento da PaCO<sub>2</sub>, o que vai acontecer a respiração do animal?**

**Resposta: A respiração vai aumentar para eliminar o CO<sub>2</sub>**

**Ex2: Se o pH do sangue aumentar, o que vai acontecer com a respiração?**

**Resposta: Os A respiração vai aumentar para eliminar o CO<sub>2</sub>**

# SENSORES

- ✓ Os quimiorreceptores também monitoram a  $\text{PaO}_2$ , porém é necessário que esta diminua para valores inferior a 60 mmHg

Ex: Altas altitudes

- ✓ Alterações na  $\text{PaO}_2$  ou no pH arterial vão ativar os quimiorreceptores periféricos
- ✓ Alterações na  $\text{PaCO}_2$  vão ativar os quimiorreceptores periféricos e centrais



**HIPERVENTILAÇÃO**

**X**

**HIPOVENTILAÇÃO**

**Pergunta: O que vai acontecer com a  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$  e o pH?**

# OUTROS FATORES QUE INFLUENCIAM A VENTILAÇÃO

- ✓ Dor e emoções
- ✓ Controle voluntário
- ✓ Irritantes das vias aéreas
- ✓ Hiperinflação dos pulmões

# TERMOS DESCRITIVOS

- ✓ Eupnéia – Respiração comum silenciosa
- ✓ Apnéia – Parada momentânea da respiração
- ✓ Dispnéia – Consiste na respiração difícil ou laboriosa
- ✓ Hiperpnéia – Respiração na qual a frequência, profundidade ou ambas estão aumentadas
- ✓ Taquipnéia – Rapidez excessiva da respiração
- ✓ Bradipnéia – Lentidão anormal da respiração
- ✓ Hipopnéia - Respiração na qual a frequência, profundidade ou ambas estão diminuídas
- ✓ Polipnéia – Respiração rápida, superficial e ofegante

# TERMOS DESCRITIVOS

- ✓ Hipóxia – Redução da PO<sub>2</sub> abaixo do normal
- ✓ Anóxia – Ausência de oxigênio
- ✓ Hipoxemia – Redução da concentração do O<sub>2</sub> no sangue arterial
- ✓ Hipercapnia - Aumento da concentração do CO<sub>2</sub> no sangue arterial
- ✓ Hipocapnia - Redução da concentração do CO<sub>2</sub> no sangue arterial
- ✓ Cianose – Coloração azulada da pele e das mucosas (desoxigenação da hemoglobina)
- ✓ Asfixia – Condição de hipóxia associada à hipercapnia
- ✓ Atelectasia – Falha dos alvéolos se abrirem ou permanecerem abertos
- ✓ Pneumonia – Inflamação aguda do pulmão que pode ser causado por diferentes causas

