

## SISTEMA RESPIRATÓRIO

### Meta

Nesta aula serão apresentadas as características e adaptações das estruturas responsáveis pelas trocas gasosas dos vertebrados, que compõem o que chamamos de sistema respiratório.

### Objetivos

Ao final desta aula, o aluno deverá:

identificar as estruturas que formam o sistema respiratório dos vertebrados, e entender as principais adaptações deste sistema que permitiram a vida de determinados animais na água e de outros na terra.

### Pré-requisitos

É importante que o aluno tenha entendido os termos utilizados em Anatomia que foram revisados na primeira aula. Algumas informações fornecidas nas aulas referentes aos sistemas tegumentar, muscular e esquelético ajudarão também no entendimento das estruturas responsáveis pelas trocas gasosas nos vertebrados.



(Fonte: <http://360graus.terra.com.br>)

### INTRODUÇÃO

Grande parte das reações químicas que ocorrem no interior das células dos animais é do tipo oxidativa, ou seja, elas necessitam de oxigênio para acontecer. Dessas reações, temos como um dos produtos o dióxido de carbono que, embora seja importante na forma de íons bicarbonato para manutenção do tamponamento do sangue, o seu excesso precisa ser eliminado.

A difusão é o único processo no qual os gases se movimentam para dentro e para fora dos tecidos. Alguns organismos unicelulares, como protozoários e bactérias, podem interagir diretamente com o ambiente, e realizar suas trocas gasosas com o meio. Porém, os vertebrados são muito grandes para isso, e um conjunto de órgãos especializados na captação do oxigênio e eliminação do CO<sub>2</sub> foi necessário para desempenhar estas funções em benefício de todo o corpo. A esse conjunto de estruturas envolvidas nas trocas gasosas com o meio dá-se o nome de sistema respiratório.

As trocas gasosas podem ocorrer em membranas fetais, na superfície da pele, nas brânquias, nos pulmões e, ocasionalmente, em outros locais. Porém o transporte dos gases entre os órgãos respiratórios e os outros tecidos é realizado pelo sistema circulatório.

Algumas características são comuns às estruturas respiratórias, independentemente do tipo (ex. brânquias, pulmões), como: a presença de uma grande área de troca, paredes finas e úmidas e uma rica rede de vasos sanguíneos. Para facilitar a difusão dos gases essas estruturas precisam ser ventiladas (bombeamento da água para as brânquias e do ar para os pulmões) de modo a estabelecer gradientes de difusão entre o meio e o sangue para cada gás.

Características do meio e exigências dos animais influenciam nas estruturas dos sistemas de captação e eliminação

dos gases respiratórios. Devido a isso, algumas propriedades dos ambientes, aquático e terrestre, devem ser lembradas para facilitar o entendimento da evolução dos órgãos respiratórios. A água possui maior densidade e viscosidade que o ar, e contém 30 vezes menos oxigênio. No ar as moléculas de gás difundem 10.000 vezes mais rápido que na água. Nos tópicos seguintes discorreremos sobre a forma que estas propriedades interferem no sistema respiratório dos vertebrados e as soluções encontradas por eles.

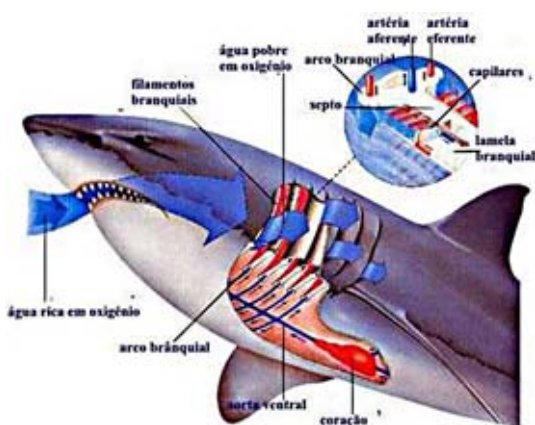
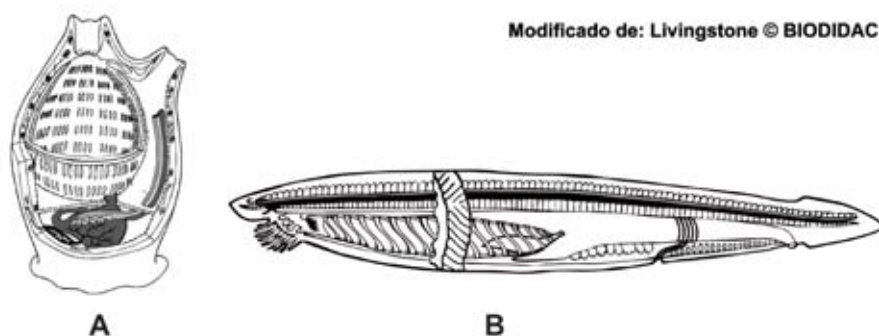


Diagrama representando a respiração em um tubarão  
(Fonte: [www.portalsaofrancisco.com.br](http://www.portalsaofrancisco.com.br))

## RESPIRAÇÃO AQUÁTICA

Muito provavelmente os cordados, ancestrais dos vertebrados, tinham grandes “brânquias” (“cesta faríngea”) semelhantes ao que é observado hoje nos anfióxos e ascídias. E como nesses animais, as “brânquias” deveriam exercer um papel maior na alimentação por filtração do que na respiração, com as trocas gasosas ocorrendo mais através do tegumento.



Cestas faríngeas de uma ascídia (A) e de um anfióxico (B).

Como já vimos em aulas anteriores, a estrutura da faringe sofreu grandes modificações, dando origem, já nos primeiros vertebrados, a brânquias mais eficientes com função respiratória, e um pouco mais tarde à estrutura das maxilas.

Inicialmente, seis ou mais pares de bolsas surgiram das paredes laterais da faringe embrionária, compondo as estruturas conhecidas como bolsas faríngeas. Entre bolsas adjacentes encontramos os arcos viscerais, e seus respectivos arcos aórticos, artérias responsáveis por conduzir o sangue do coração para as regiões de captação do oxigênio, e dali para todo o corpo onde será utilizado.

Nos Agnatha todas as bolsas faríngeas formam típicas câmaras branquiais. Já nos outros peixes, a primeira câmara branquial pode ser perdida ou reduzida em tamanho, modificando sua função para formar a cavidade do espiráculo. Nos tetrápodes, a primeira câmara forma a cavidade da orelha média. O último par também se modifica originando em alguns, o que seria o primórdio da bexiga natatória (órgão hidrostático dos peixes ósseos) e em outros, o dos pulmões. Nas larvas dos anfíbios, os últimos pares dão origem também às câmaras branquiais.

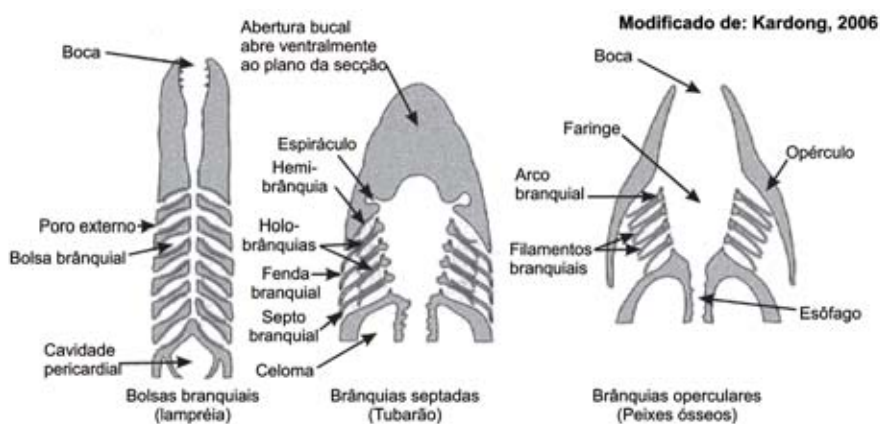
Antes de passarmos para a estrutura e função das brânquias, vamos retomar algumas informações. Se você se recorda, os arcos viscerais foram se modificando durante a evolução dos grupos. Nos Gnathostomata, o primeiro arco formou a estrutura das maxilas. Já o segundo arco visceral inicialmente se modificou no hiomandibular, contribuindo para a sustentação das maxilas de alguns peixes, e nos tetrápodes formou parte da orelha

média. Os demais arcos viscerais sustentam as barras branquiais dos peixes (arcos branquiais), e derivaram em várias estruturas dos tetrápodes (ex. anéis traqueais e aparelho hióideo).

### ESTRUTURA GERAL DAS BRÂNQUIAS

A conformação geral das brânquias internas dos peixes é bem semelhante. Temos para cada barra branquial vasos sanguíneos derivados dos arcos aórticos, um nervo craniano ou cervical associado, músculos branquiais intrínsecos e o epitélio. Nos elasmobrânquios (tubarões e raias) fendas branquiais são separadas por septos. Grande parte das barras branquiais possui, em sua margem mais interna, uma ou mais fileiras de rastros branquiais. Essas estruturas protegem as câmaras branquiais, impedindo que partículas de alimento entrem nelas.

Uma barra branquial em geral é formada por duas fileiras de filamentos branquiais. Quando um septo está presente, cada fileira de filamento ocupa um de seus lados. Em ocasiões que encontramos em uma mesma barra branquial uma fileira de filamentos branquiais em uma posição cranial e outra em posição caudal, dizemos que esta brânquia é do tipo holobrânquia. Porém se uma barra branquial apresentar filamentos em apenas um dos lados, a brânquia é classificada como hemibrânquia. A figura abaixo mostra de forma esquemática a conformação das brânquias de agnatos (bolsas branquiais), elasmobrânquios (brânquias septadas) e dos peixes ósseos (brânquias operculares). Repare que no desenho central os filamentos branquiais mais craniais formam uma hemibrânquia e os demais holobrânquias.

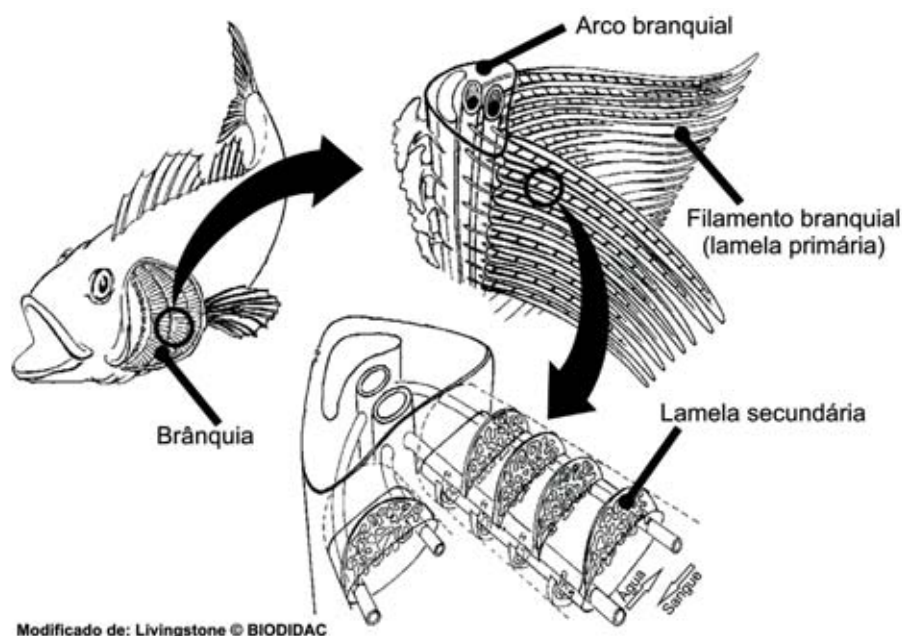


Tipos de brânquias: bolsas branquiais (agnatos), brânquia septada (peixes cartilagosos) e brânquias operculares (peixes ósseos).

Cada filamento branquial, também conhecido por lamela primária, é formado por um vaso filamentar aferente que leva o sangue até a extremidade do filamento, e um outro eferente que retorna o sangue ao arco branquial.

Ligando estes dois vasos temos redes capilares finas, as lamelas secundárias, que normalmente não ultrapassam o diâmetro de um glóbulo vermelho (eritrócito). É nesses diminutos vasos que ocorrem as trocas gasosas.

As lamelas secundárias ficam posicionadas paralelamente ao fluxo da água, sendo banhadas durante a sua passagem. A água ao entrar na cavidade que aloja as brânquias, possui uma concentração de oxigênio maior que a dos vasos, estabelecendo assim um gradiente de difusão, com o oxigênio difundindo-se para o sangue. Da mesma forma, o CO<sub>2</sub>, que se apresenta em maiores concentrações no sangue passa a se difundir para a água. O fluxo de sangue no interior das lamelas secundárias flui no sentido contrário ao da passagem da água, estabelecendo um sistema de troca de gases por contracorrente.



Estrutura branquial de um peixe, destacando as lamelas primárias e secundárias e os fluxos da água e do sangue.

Nos peixes a hemoglobina se liga mais rapidamente ao oxigênio do que nos tetrápodes. Isso possibilita, por exemplo, que as brânquias de Teleostei extraiam até 80% do oxigênio dissolvido na água, compensando assim a menor quantidade deste gás no meio. Se você se recorda, um mesmo volume de ar atmosférico mantém 2/3 a mais de oxigênio do que a água.

Além da função respiratória, as brânquias auxiliam também na excreção e osmorregulação. Boa parte dos resíduos nitrogenados dos peixes ósseos é excretada pelas brânquias. Nos peixes ósseos de água doce, as brânquias permitem a passagem passiva da água para o seu interior e absorvem ativamente sais. Já as espécies marinhas deste mesmo grupo, absorvem pouca água e excretam ativamente sais.

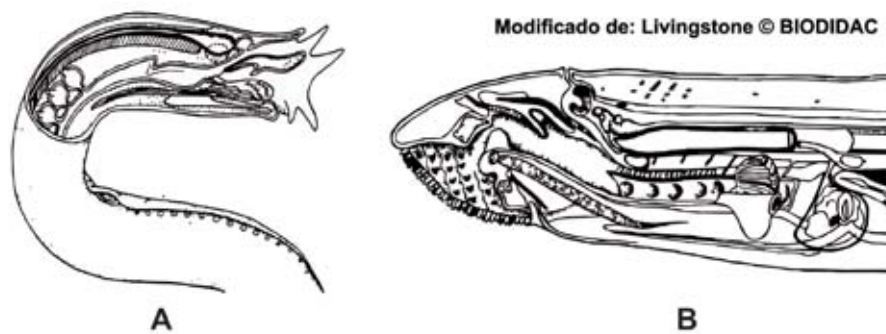


### TIPOS DE BRÂNQUIAS

Antes de falarmos sobre os tipos de brânquias, gostaria que você se lembrasse de que a água apresenta uma viscosidade maior do que o ar. Por conta desta propriedade é possível verificar que os custos associados à ventilação das estruturas respiratórias são bem diferentes entre os dois meios. Para facilitar o entendimento, imagine o quanto seria complicado um animal terrestre respirar água. Este líquido teria que percorrer todo o trato respiratório até chegar aos pulmões, e retornar pelo mesmo local antes de ganhar o meio externo. O custo energético para deslocar a água por este caminho seria altíssimo. Agora pense no mesmo caminho sendo percorrido pelo ar. Acho que não existe dúvida de que esta forma consome bem menos energia.

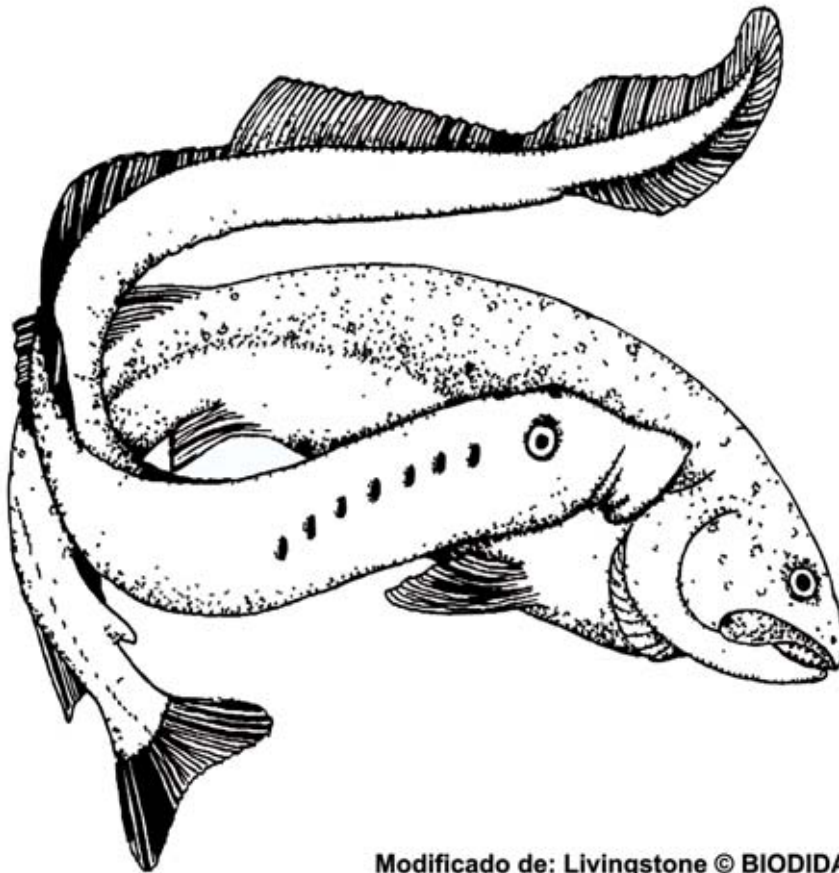
Mas você deve estar se perguntando: como os peixes fazem para reduzir os gastos energéticos associados à ventilação de suas brânquias? Não é difícil de entender. Grande parte dos peixes estabelece um fluxo unidirecional da água para o interior da cavidade branquial, estabelecido normalmente pela natação (peixes cartilagosos) ou pela movimentação dos opérculos (peixes ósseos). Entendido isto vamos passar para os tipos de brânquias existentes.

Os agnatos apresentam bolsas branquiais, nas quais os filamentos branquiais encontram-se dispostos em suas paredes. Cada bolsa pode se comunicar com o meio externo através de um poro próprio, ou um conjunto de bolsas de cada lado pode se unir através de um ducto comum antes de ganhar o ambiente externo via poro único. Diferentes das feiticeiras, as lampreias possuem uma divisão da faringe separada da via alimentar. Cinco a 15 câmaras podem estar presentes em feiticeiras e um número fixo de sete nas lampreias.



Estruturas branquiais de uma feiticeira (A) e de uma lampreia (B).

Como as narinas das lampreias não se comunicam com a faringe, a entrada e a saída da água se dão por meio dos poros branquiais. Mesmo assim não há grandes prejuízos para estes animais uma vez que eles assumem uma condição parasita, na qual um outro organismo fornece alimento e transporte, reduzindo os custos do animal e a demanda de oxigênio.

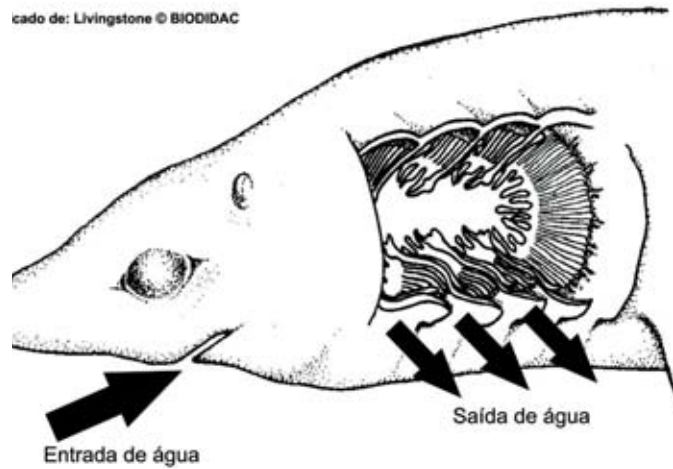


Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

Lampreia sugando os fluidos corpóreos de um peixe ósseo.

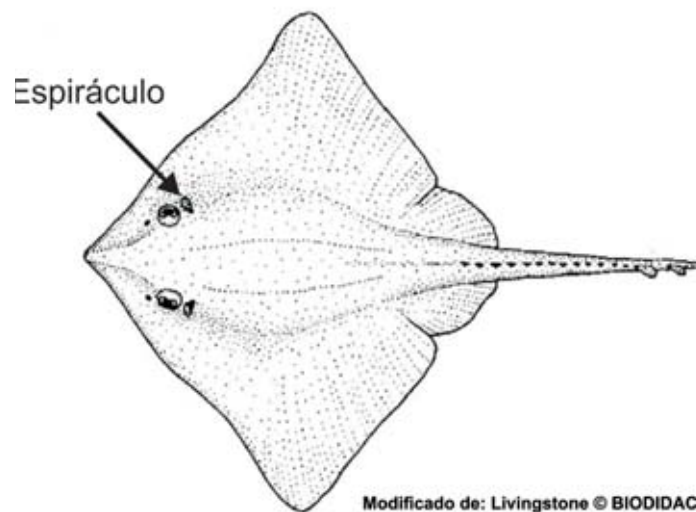
As brânquias encontradas nos Chondrichthyes são conhecidas como brânquias septadas. Este tipo de brânquia difere do anterior por ser maior e por se comunicar mais com a parte interna da faringe e com o exterior por meio de fendas branquiais verticais. A primeira câmara branquial é reduzida neste grupo e forma o espiráculo, estrutura importante no bombeamento da água para as brânquias em espécies bentônicas. Cinco a sete fendas branquiais podem estar presentes. As quimeras (Holocephali) apresentam brânquias intermediárias entre os tipos septado e opercular, recobertas por um opérculo carnoso (membranoso). Nos peixes cartilagosos a entrada da água ocorre pela boca ou espiráculo, sendo seu fluxo estabelecido principalmente pela natação, um processo conhecido como ventilação forçada.

## Cordados I



Brânquia septada de um tubarão.

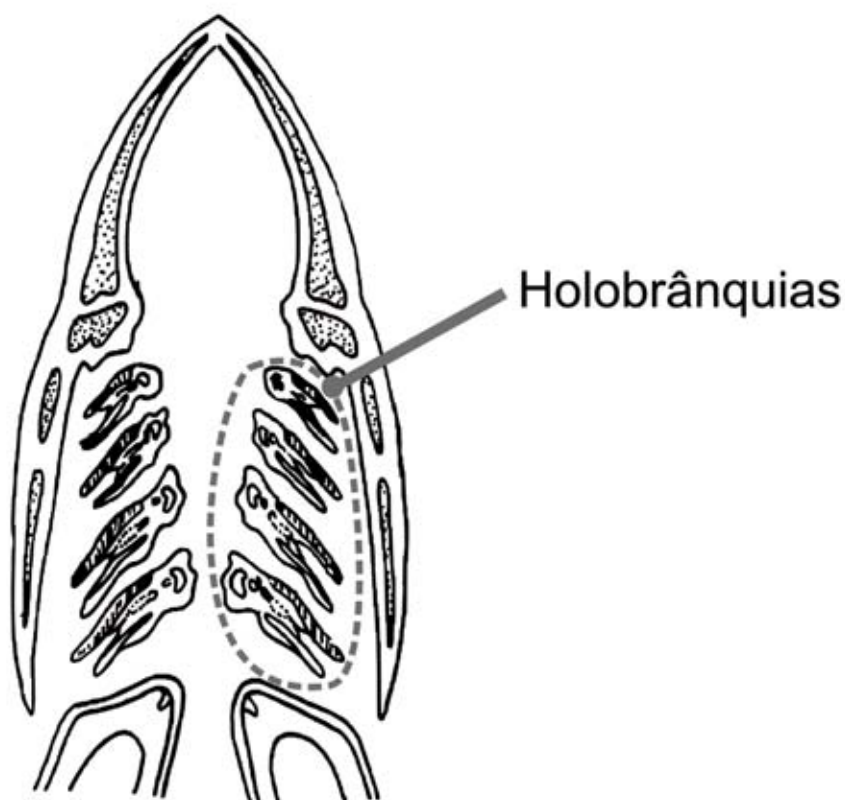
Não sei se você já notou, mas as raias normalmente possuem as aberturas da boca e das fendas branquiais em uma posição ventral. Nestes animais, a água entra pelo espiráculo, localizado dorsalmente, banhando as brânquias e saindo para o meio externo através das aberturas das fendas branquiais. Neste caso o fluxo da água é estabelecido através da contração e relaxamento dos músculos associados ao espiráculo, que geram mudanças de pressão no interior desta câmara. Esta forma de ventilação é muito importante para animais bentônicos, como as raias, que vivem associados ao substrato, pois reduz a entrada de partículas indesejadas para o interior das câmaras que alojam as brânquias.



Morfologia externa de uma raia.



Os peixes ósseos possuem brânquias operculares. Nestes peixes os septos são normalmente mais curtos do que os filamentos, podendo inclusive estar ausentes, permanecendo apenas as barras branquiais (arcos branquiais) nas quais se fixam os filamentos branquiais. Protegendo as brânquias temos um opérculo ósseo, que também contribui para o bombeamento da água para as brânquias. Os Osteichthyes apresentam em geral quatro holobrânquias funcionais.



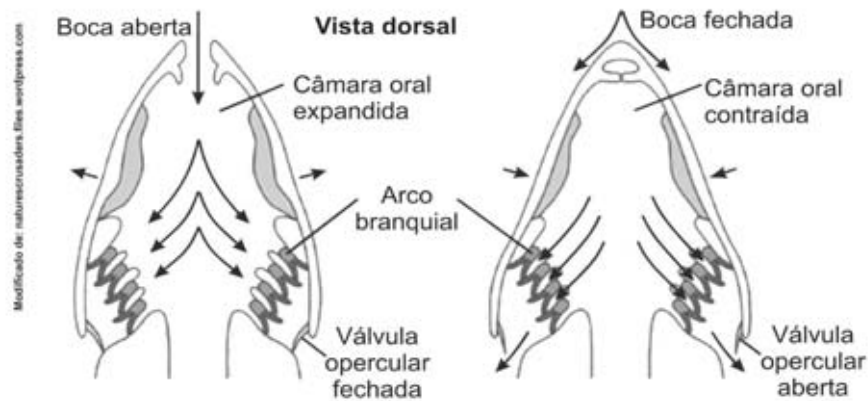
Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

Brânquia opercular de um peixe ósseo.

A ventilação das brânquias dos Osteichthyes é auxiliada pelos opérculos e válvulas (oral e opercular) que regulam a passagem da água. Para entender melhor o processo, procure explorar a figura abaixo durante a leitura da explicação. O fluxo é estabelecido para o interior da cavidade branquial quando as válvulas operculares estão fechadas e a oral aberta. Através da ação muscular ocorre a expansão da câmara que aloja as brânquias, o que resulta em uma pronunciada queda de pressão que força a entrada da água para seu interior. Já a saída, ocorre quando a válvula oral se fecha e as operculares se abrem, somados à ação muscular que promove o aumento da pressão interna pela redução da cavidade branquial. Desta forma, a água é empur-

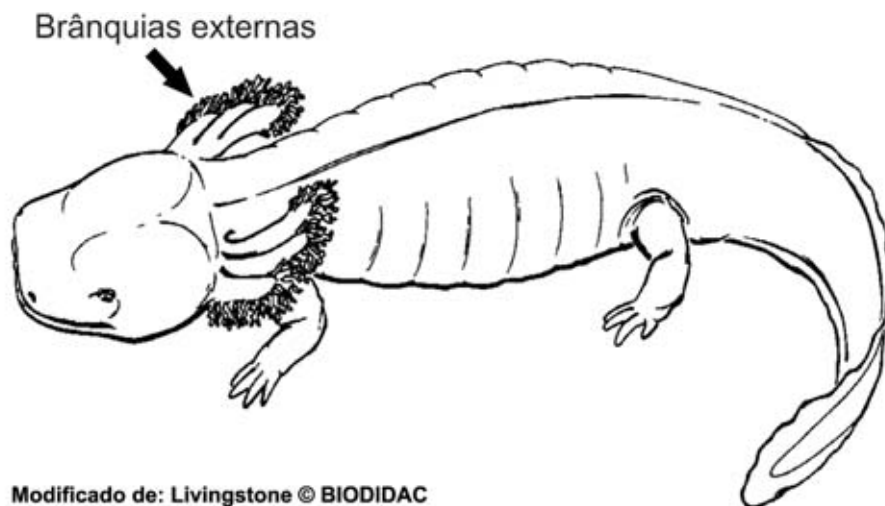
## Cordados I

rada para o meio externo. Uma renovação constante da água no interior da cavidade branquial pode então se estabelecer através da alternância dos dois processos anteriormente descritos, facilitando assim as trocas gasosas.



Processo de ventilação de uma brânquia opercular.

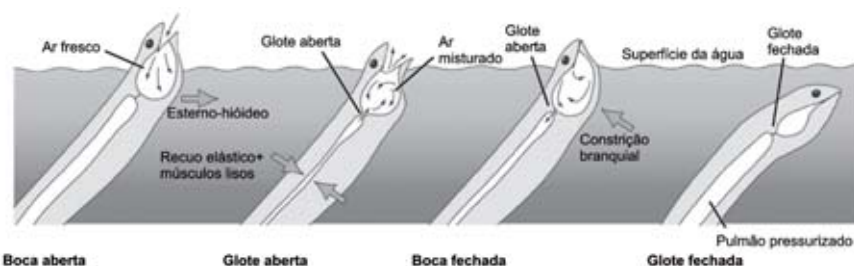
Larvas de alguns anfíbios e de peixes (Dipnoi e Polypterus) podem apresentar também brânquias externas, bem como os adultos das salamandras perenibranquiadas. Este tipo de brânquia se desenvolve a partir do ectoderma da região branquial, mas não possui uma relação direta com o esqueleto visceral ou mesmo com as câmaras branquiais. Possuem forma filamentosa ou de pena, podendo seu epitélio ser ciliado. Associadas às brânquias temos músculos que promovem a ventilação em ambientes com água parada.



Brânquia externa de uma salamandra perenibranquiada.

## RESPIRAÇÃO AÉREA – ORIGEM E DESENVOLVIMENTO

A temperatura influencia bastante a concentração de oxigênio dissolvido na água, constituindo muitas vezes um fator limitante à vida de determinados organismos nos ambientes aquáticos. Altas temperaturas promovem o rompimento das pontes de hidrogênio, fazendo com que o oxigênio dissolvido se dissipe para o meio externo, deixando a água estagnada. Este processo é semelhante ao que acontece quando fervemos água para um café, por exemplo. Já notou que bolhas de ar são formadas? Juntamente com o vapor d'água, o oxigênio que estava dissolvido ganha o meio externo, ficando indisponível neste líquido. Processo semelhante pode ser observado também na natureza, em corpos d'água rasos que mantêm amplas áreas de incidência de raios solares ou mesmo em locais brejosos. Em geral estes ambientes apresentam concentrações baixas de oxigênio, mas ainda assim alguns organismos, como peixes, são vistos ocupando estes locais. Que tipo de adaptações esses animais teriam que os permitem sobreviver mesmo sob tais condições? Vários peixes têm dificuldades de suprir suas necessidades de oxigênio utilizando apenas as brânquias, quando submetidos a corpos d'água que mantêm baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Para complementar a captação de oxigênio nestes casos, estruturas acessórias entram em ação, como em regiões da faringe ou do trato digestório, que mantêm epitélios especializados altamente vascularizados, capazes de extrair oxigênio do ar atmosférico. Porém não podemos esquecer que a estrutura de maior sucesso nas trocas gasosas “aéreas” é o pulmão, presentes em algumas espécies de peixes (Dipnoi) e em quase todos os tetrápodes.



Processo de ventilação do pulmão dos Dipnoi.

O pulmão deriva de evaginações do trato digestório, que se tornam extremamente vascularizadas. Em peixes, a área superficial dos pulmões é aumentada por alvéolos e divisões em suas paredes. Origem semelhante a dos pulmões pode ser encontrada na estrutura conhecida como bexiga natatória, câmara de gás que funciona como um órgão hidrostático nos peixes. Esta estrutura, exclusiva dos peixes ósseos, permite que o animal se mantenha parado na água sem grandes gastos energéticos. No início do

desenvolvimento, a bexiga natatória é ligada ao trato digestório por meio de um ducto pneumático, que é mantido nos adultos de peixes fisóstomos, mas perdido nos peixes fisóclistos. Veja a figura apresentada no tópico que descreve o funcionamento da bexiga natatória para um melhor entendimento.

Ainda com relação à respiração “aérea” em peixes podemos encontrar duas possibilidades, como descritas a seguir. Ela pode ser facultativa, ocorrendo em algumas espécies quando há baixa dos níveis de oxigênio dissolvido na água. Esta situação força o peixe a complementar a captação deste gás diretamente do ar atmosférico. A outra possibilidade é a respiração aérea obrigatória, observada em peixes cujas brânquias sozinhas não têm a capacidade de suprir em sua totalidade a demanda de oxigênio do animal. Dessa forma, grande parte daquilo que é utilizado pelo peixe é necessariamente proveniente do ambiente aéreo.

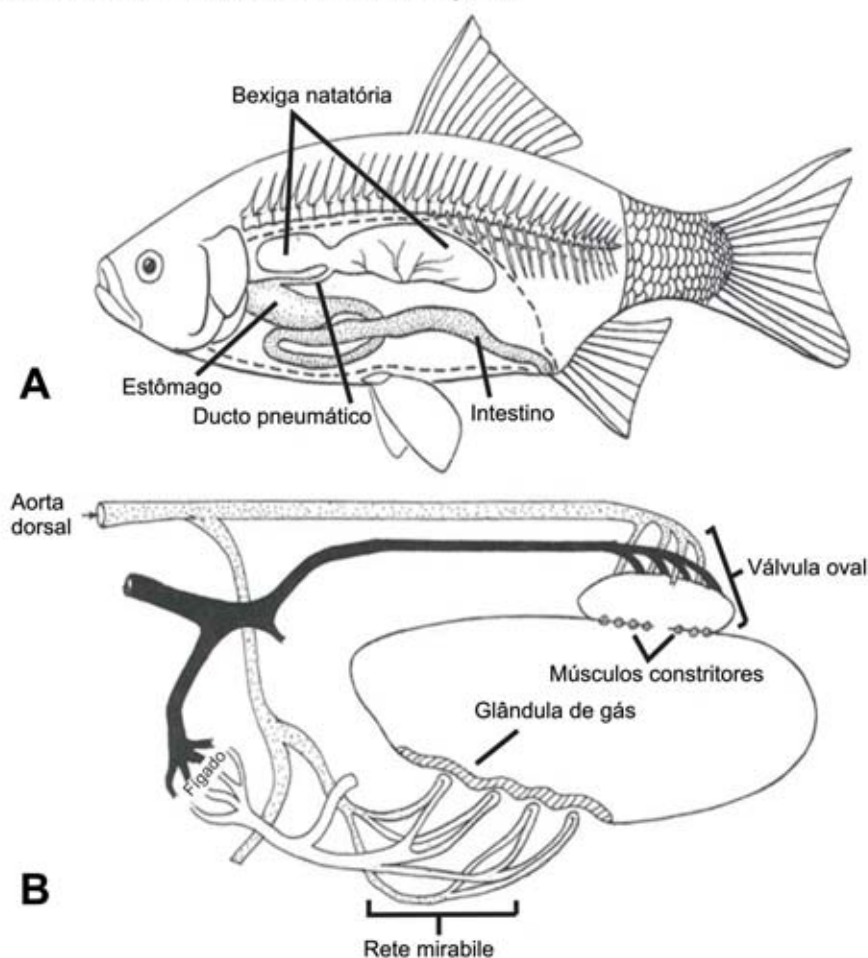
### **BEXIGA NATATÓRIA (VESÍCULA DE AR OU DE GÁS)**

A bexiga natatória está localizada entre a cavidade peritoneal e a coluna vertebral. A parede desta estrutura é formada por fibras colágenas entrelaçadas, praticamente impermeável a gases. O volume ocupado pela bexiga natatória pode variar de 4 a 11% do volume corporal do peixe. Quanto à forma, podem ser longas ou curtas, retas ou curvas, simples ou divididas. Na figura abaixo encontramos um esquema generalizado da bexiga natatória de peixes fisóstomos (A) e de peixes fisóclistos (B).

A bexiga natatória dos peixes fisóstomos (Osteoglossomorpha, enguias, sardinhas, anchovas, salmões, carpas e afins) pode possuir além do papel hidrostático, a função respiratória. Neste caso uma rede capilar, associada às paredes desta estrutura, está encarregada das trocas gasosas. O ar chega até a bexiga natatória destes animais através do ducto pneumático.

Nos adultos dos peixes fisóclistos, a bexiga natatória não apresenta o ducto pneumático. Mas como será que o volume de gás no interior desta vesícula é mantido uma vez que não temos mais um ducto para isso? Ao analisarmos a anatomia da bexiga natatória dos peixes fisóclistos podemos verificar que em sua região anteroventral encontramos uma área secretora conhecida como glândula de gás. Embora tenha este nome, a glândula de gás é responsável pela produção de ácido lático e não de gás, porém seu produto contribui para que o oxigênio torne-se livre, podendo assim ser direcionado para o interior da vesícula de ar. Associada a essa glândula temos uma rede de capilares, a rete mirabile. Em conjunto, a rete mirabile e a glândula de gás formam o que chamamos de corpo vermelho.

Modificado de: Hildebrand &amp; Goslow JR, 2006



Estrutura da bexiga natatória de um peixe fisóstomo (A) e de um fisóclisto (B).

Para o peixe é interessante manter uma flutuabilidade neutra de modo que não necessite movimentar-se o tempo todo para permanecer em uma determinada região da coluna d'água. A faixa de água ocupada por alguns peixes pode ser relativamente grande implicando em pressões muito diferenciadas entre locais próximos e distantes da superfície. Se você se recorda da física, a cada 10 metros que descemos em uma coluna d'água, uma atmosfera de pressão é acrescida sobre nós, e não é diferente para os peixes. Mas como será que estes animais conseguem manter a flutuabilidade neutra em diferentes profundidades?

De acordo com que o peixe desce na coluna d'água a pressão sobre ele aumenta. Se não existisse nenhum mecanismo que compensasse este aumento de pressão, as paredes da bexiga natatória colabariam, porém isso não ocorre. Na realidade o aumento de pressão serve como gatilho para que a glândula de gás produza ácido lático que é enviado aos capilares

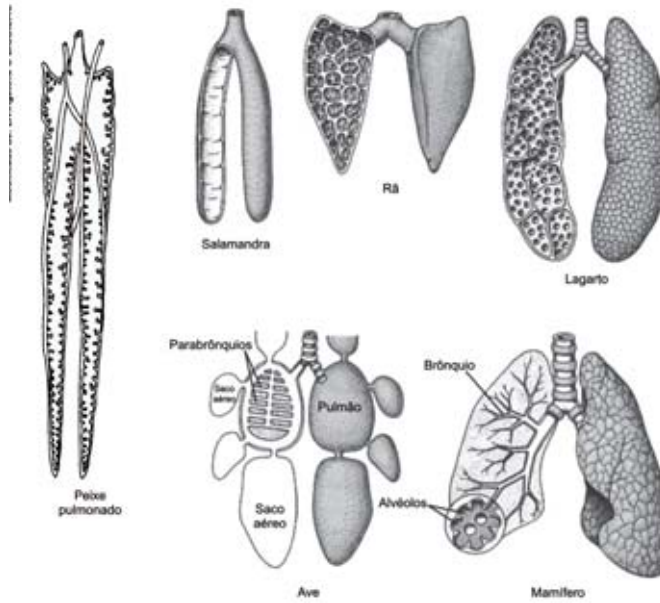
que formam a rete mirabile. O ácido reduz o pH do sangue nesta região, fazendo com que as ligações que mantêm unidas as moléculas de hemoglobina e oxigênio se enfraqueçam e se rompam, deixando o gás disponível na forma livre. O aumento das concentrações de oxigênio livre faz com que se estabeleça um gradiente de difusão a favor da entrada deste gás na bexiga natatória, compensando assim o aumento da pressão externa sobre o organismo. Quando o animal se dirige à superfície, a pressão sobre ele cai, porém a pressão interna da bexiga natatória a princípio ficaria maior do que a verificada externamente. Da mesma forma que na situação anterior, se não houvesse um mecanismo compensatório esta vesícula de gás poderia até explodir. Na parte dorso-caudal da bexiga natatória existe uma válvula muscular conhecida como oval, que se abre em momentos em que a pressão interna se eleva. Isto permite que parte do oxigênio seja reabsorvida pelo epitélio dos vasos associados a esta válvula. Os mecanismos aqui descritos permitem que os peixes ajustem a sua densidade àquela do ambiente.

Os Chondrichthyes não possuem bexiga natatória, porém a flutuabilidade neutra também é estabelecida. Esses animais possuem grandes fígados que podem secretar ou absorver óleo dependendo da necessidade. Já notaram que quando você joga óleo em água, ele não se mistura ocupando uma posição acima da mesma. Isto acontece devido à menor densidade do óleo quando comparado à água. O mesmo princípio pode ser transferido para os peixes cartilagosos. Quando o fígado do animal secreta óleo, acaba reduzindo a densidade do mesmo. Já quando o óleo é absorvido, a densidade aumenta fazendo com que o animal afunde.

## EVOLUÇÃO DOS PULMÕES

Os pulmões consistem de uma complexa rede de túbulos e sacos, que variam consideravelmente entre as espécies. Diferentes dos pulmões dos peixes pulmonados, estes se apresentam em número par, estando ligados à parte ventral do tubo digestório por um ducto conhecido por traqueia. Com relação à evolução dos pulmões, o principal caminho tomado foi o de adaptar-se ao aumento do tamanho corporal e das taxas metabólicas por meio do aumento da compartimentalização dos pulmões. Sendo assim, os espaços aéreos tornaram-se progressivamente menores nos pulmões de anfíbios, répteis e mamíferos (nesta ordem), mas o número total de espaços aéreos por unidade de volume do pulmão tornou-se maior.

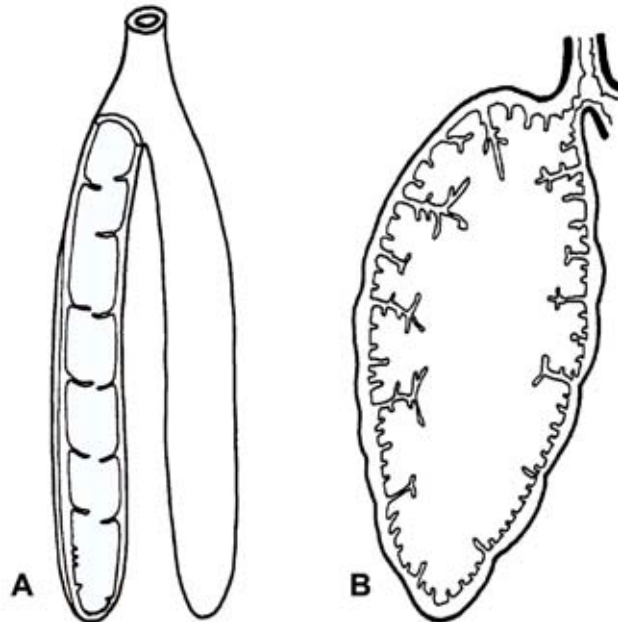




Estrutura dos pulmões de alguns vertebrados.

## ANFÍBIOS

Os pulmões dos anfíbios são estruturas diversificadas, variando desde uma bolsa de parede lisa em alguns, até pulmões subdivididos por septos e dobras dentro de numerosos sacos aéreos interconectados.

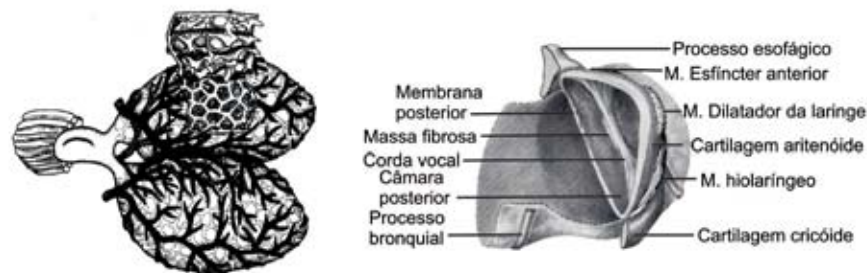


Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

Pulmões de uma salamandra (A) e de um anuro (B).

## Cordados I

Nos anuros (sapos, rãs e pererecas), os pulmões são grandes, porém curtos. Apresentam-se na forma de sacos com divisões de primeira, segunda e as algumas vezes de terceira ordem. A traqueia é curta, e dividida em dois brônquios também curtos que se abrem nos ápices dos pulmões. A sustentação das paredes dos brônquios e da traqueia pode ser feita por cartilagens, o que evita o colapso destas estruturas. O nome dado à abertura da traqueia na faringe é glote. Flanqueando esta estrutura podemos encontrar um par dorsal de cartilagens aritenoides, que sustentam as cordas vocais, importantes na vocalização, e um par de cartilagens ventrais cricoides. Em conjunto, estas cartilagens formam a laringe.



Modificado de: Livingstone © BIODIDAC; Duellman & Treub, 1994

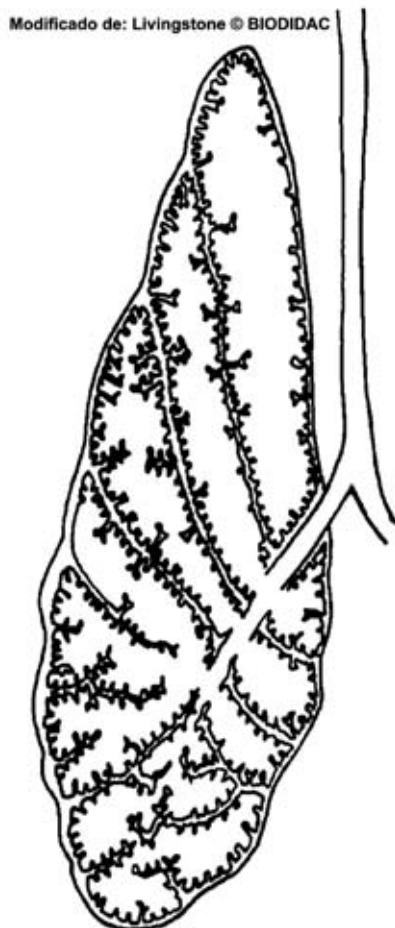
Estrutura dos pulmões, glote e cordas vocais de um anfíbio anuro.

O grupo dos Apoda (cobras cegas), normalmente retêm apenas o pulmão direito. Já nos Urodelos (salamandras e tritões), a maioria das espécies perde completamente os pulmões, mas quando presentes, estes se apresentam sob a forma de longos sacos delgados de paredes lisas. Respiram também pelo tegumento e larvas e adultos perenibrânquiados complementam a captação de oxigênio através das brânquias externas, já relatadas em tópicos anteriores. Os pulmões dos urodelos podem atuar também como órgãos hidrostáticos.

## RÉPTEIS

Os répteis apresentam pulmões grandes e variáveis. Em espécies com formas alongadas (serpentes e cobras de duas cabeças), um dos pulmões pode se encontrar reduzido ou ser rudimentar. Na maioria dos lagartos, existe apenas uma câmara em cada pulmão com repartição limitada das paredes. Já os pulmões dos grandes répteis, como tartarugas, monitores e crocodilianos, possuem um número maior de compartimentos e repartições ao longo de suas paredes. As repartições podem ser esparsas ou densas, rasas ou profundas e uniformemente ou irregularmente distribuídas. A parte cranial do pulmão geralmente é compartimentalizada em câmaras menores, é mais vascularizada e mais rígida do que a parte caudal. Nos

répteis, a traqueia e os brônquios são mais longos que nos anfíbios e são sustentados por anéis cartilagosos que podem ser abertos ou fechados dorsalmente. Apenas alguns lagartos apresentam cordas vocais. Quelônios podem apresentar as regiões traqueal e cloacal bastante irrigadas, que auxiliam na respiração, complementando a captação de oxigênio dos pulmões. A primeira estrutura capta o oxigênio proveniente do meio externo. Já a segunda estrutura, daquele dissolvido na água. Esta água é bombeada para o interior da cloaca pela ação de músculos desta região que promovem uma variação de pressão entre o meio interno e externo ao corpo do animal. Por último não podemos esquecer das serpentes marinhas, que retiram cerca de um terço do oxigênio que utilizam diretamente da água por meio de seu tegumento especializado.

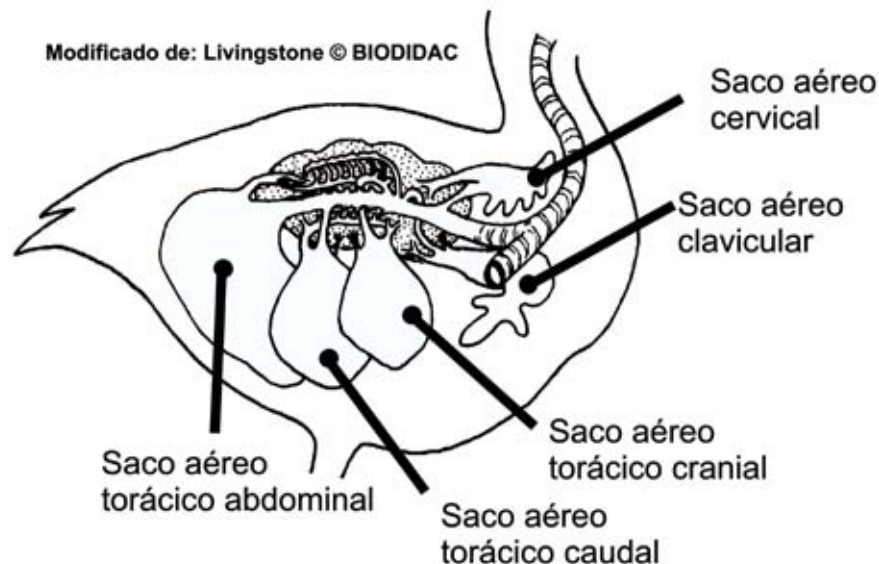


Pulmão de um lagarto.

### AVES

As aves possuem pequenos pulmões compactos que se encontram firmemente aderidos à parede dorsal do corpo. Este tipo de pulmão não possui a capacidade de se mover livremente nas cavidades pleurais. São praticamente rígidos e de volume virtualmente fixo. Associados aos pulmões encontramos grandes sacos aéreos, responsáveis por sua ventilação. Extensões destes sacos penetram em alguns ossos ou mesmo na musculatura. Os sacos aéreos se dividem em:

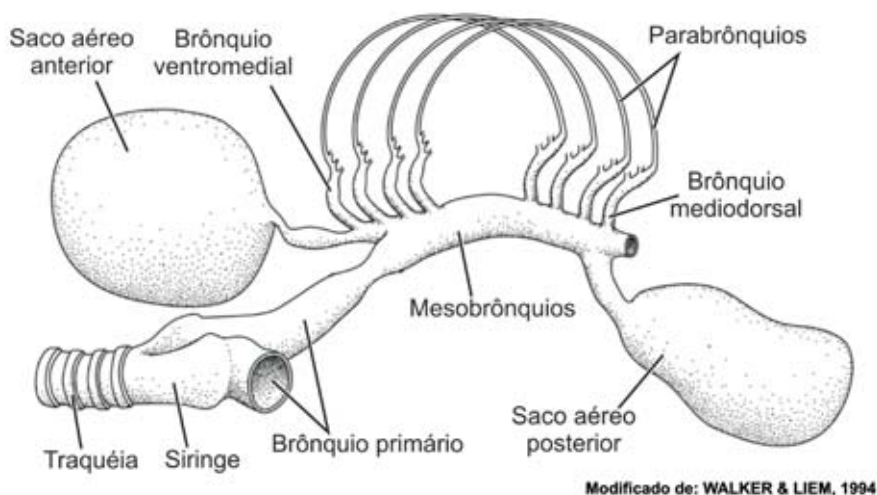
- Saco aéreo clavicular;
- Saco aéreo cervical;
- Saco aéreo torácico cranial;
- Saco aéreo torácico caudal;
- Saco aéreo abdominal.



Sacos aéreos das aves.

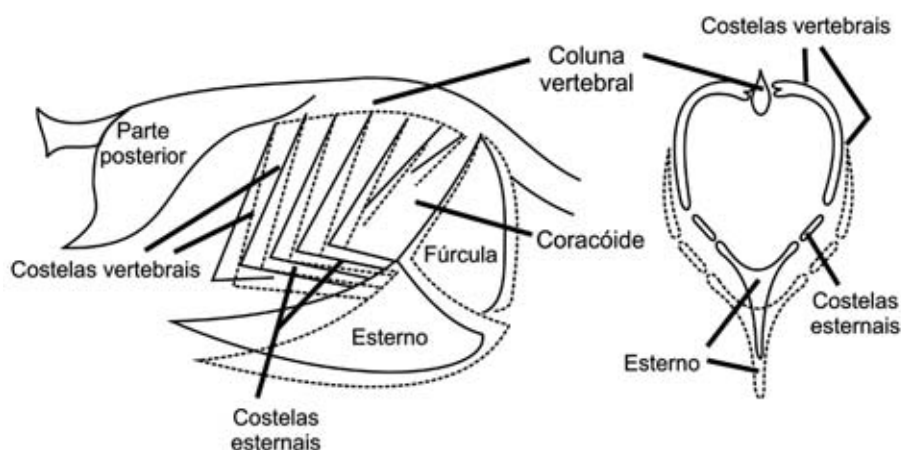
Acompanhando o grande pescoço temos uma longa traquéia que se divide em dois brônquios primários, cada um deles penetra ventralmente em seu respectivo pulmão. Logo que entra no pulmão, quatro novas ramificações, brônquios ventrais, são formadas. Estas seguem o contorno ventromedial do pulmão, ramificando-se gradativamente. Sete a dez brônquios dorsais unem-se ao brônquio primário e se ramificam na superfície dorsolateral do pulmão. Conectando os brônquios dorsais e ventrais temos milhares de parabrônquios. Nos parabrônquios encontramos ramificações que se entrelaçam e se cruzam, os capilares aéreos. O oxigênio se difunde

até os capilares aéreos a partir dos parabrônquios, e é captado pelo sangue na rede capilar que cruza com os mesmos. O fluxo de ar é bidirecional no mesobrânquio, mas unidirecional através do parabrânquio.



Pulmão parabronquial de uma ave evidenciando os parabrônquios e o mesobrânquio.

Variações no volume dos sacos aéreos são obtidas por oscilações do esterno contra a coluna vertebral e por movimentos laterais das costelas posteriores. O ar nos parabrônquios é renovado tanto durante a inspiração quanto durante a expiração, aumentando a transferência de gás no pulmão. O fluxo unidirecional é obtido não por válvulas mecânicas, mas por um sistema de válvulas aerodinâmicas.

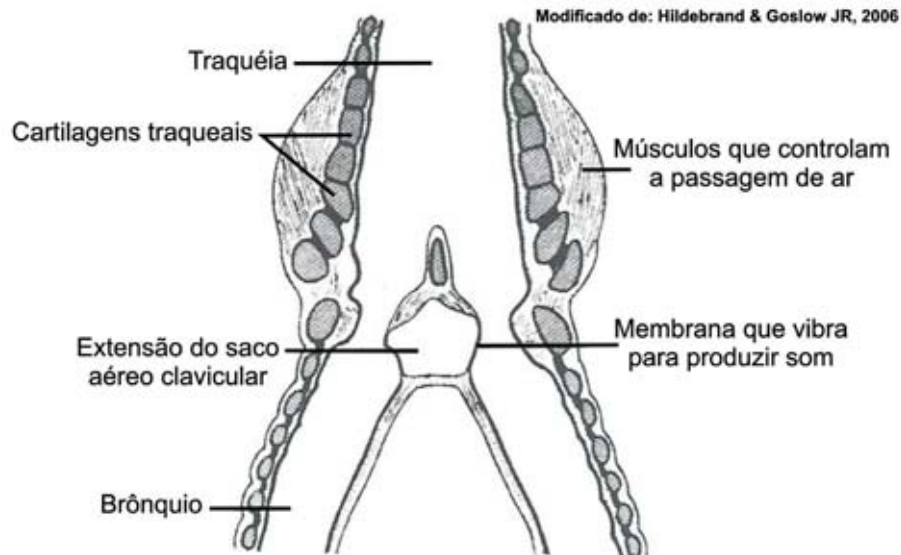


Forma de deslocamento do esterno que auxilia na ventilação dos pulmões das aves.

As aves não possuem cordas vocais, e o som neste caso é produzido em uma estrutura conhecida como siringe, localizada na ou próximo à bifurcação da traquéia. A siringe é formada por uma fina membrana sustentada,

## Cordados I

em suas margens, por anéis cartilagosos modificados. Esta membrana está alojada sobre os sacos aéreos, de forma que ela fique livre para vibrar quando a corrente de ar passa pelo sistema.

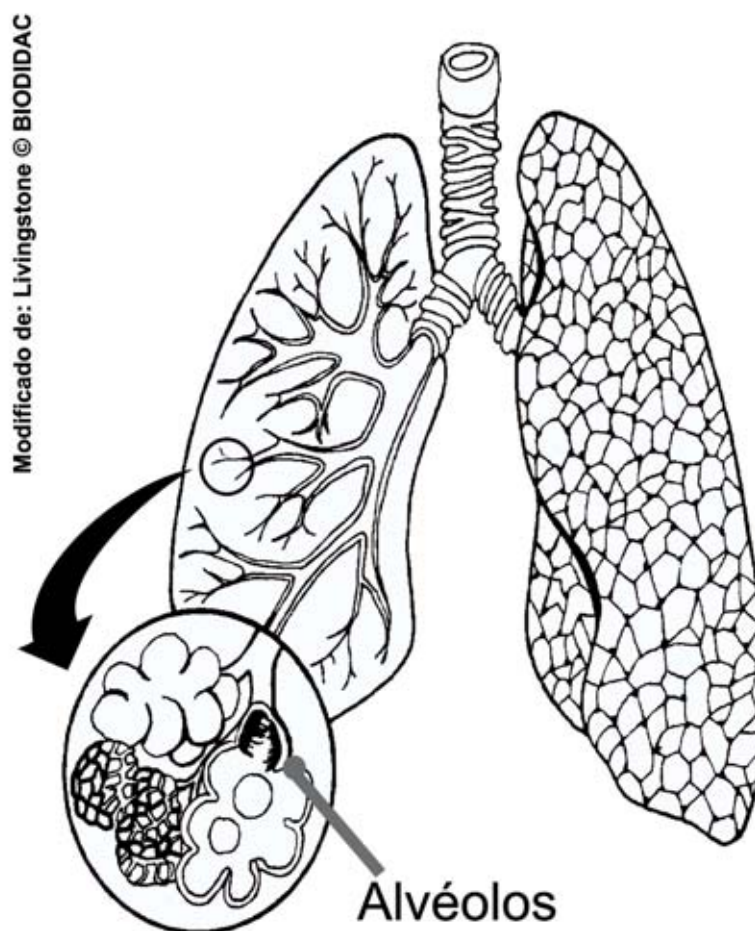


Siringe de uma ave.

## MAMÍFEROS

Nos mamíferos, os pulmões são elásticos, com múltiplos conjuntos de sacos que ficam suspensos dentro da cavidade pleural e se abrem para o exterior através de um único tubo, a traqueia. A maior divisão encontrada nos pulmões mamalianos ocorre em resposta às elevadas taxas metabólicas, visto que são organismos endotérmicos. A lobulação dos pulmões é variada e não possui importância sistemática. Pode estar ausente (cavalo, baleias, manatis, alguns morcegos), mas normalmente pelo menos dois lóbulos no pulmão esquerdo e três no direito, estão presentes. Como nos répteis, a sustentação da traqueia se dá por meio de anéis cartilagosos. Neste caso, incompletos na parte dorsal. A traqueia se ramifica em dois brônquios primários (direito e esquerdo), e cada um deles penetra em um dos pulmões e daí ocorre outras divisões como: brônquios secundários, bronquíolos e alvéolos pulmonares. A laringe se encontra presa ao aparelho hióideo. Sustentando as cordas vocais temos um par de cartilagens aritenoides. A cartilagem cricoide é única e duas outras cartilagens estão presentes, a cartilagem tireoide e uma outra na epiglote. A epiglote é uma dobra rígida, semelhante a uma válvula, responsável por regular a passagem do ar entre as narinas posteriores e a glote durante a respiração, e de manter o alimento fora do sistema respiratório, fechando a glote durante a deglutição.





Pulmões de um mamífero.

## CONCLUSÃO

Como foi relatado, algumas propriedades dos meios em que os animais vivem interferem nas estruturas responsáveis pelas trocas gasosas. No ambiente aquático a estrutura mais adaptada é a brânquia, formada por numerosos filamentos branquiais que ficam imersos na água que atravessa a câmara que as aloja. Este fluxo pode ser estabelecido principalmente pela natação e ação de estruturas como opérculos e espiráculos. Como a água é muito mais densa e viscosa do que o ar, o estabelecimento de um fluxo unidirecional é mais vantajoso, pois reduz os gastos dos animais neste processo. Já no ambiente aéreo os animais adotam um fluxo bidirecional, onde os mesmos ductos que levam o ar até os pulmões são também os de saída, na maioria dos casos. Como o ar é menos denso e viscoso e apresenta concentrações de oxigênio muito mais elevadas que a água, isso não vem a interferir tanto assim no processo.



### RESUMO

Nesta unidade estudamos as estruturas relacionadas às trocas gasosas dos vertebrados. Entre elas o destaque maior foi dado às brânquias e aos pulmões. Ambas as estruturas são derivadas do tubo digestório embrionário. Foi visto também que algumas características do meio em que os vertebrados vivem e exigências fisiológicas próprias de cada grupo influenciam nas estruturas dos sistemas de captação e eliminação dos gases respiratórios. Na água a estrutura mais adaptada é a brânquia, já no meio aéreo, os pulmões desenvolvem melhor a função respiratória. Os peixes possuem uma conformação geral das brânquias, bem semelhante. Cada barra branquial é formada por vasos sanguíneos derivados dos arcos aórticos, um nervo craniano ou cervical associado, músculos branquiais intrínsecos e o epitélio. As brânquias são divididas em três tipos: bolsas branquiais (Agnatha), brânquias septadas (elasmobrânquios) e brânquias operculares (peixes ósseos). Origem semelhante a das brânquias e dos pulmões pode ser observada na bexiga natatória, câmara de gás que funciona como um órgão hidrostático nos peixes ósseos. A função hidrostática em peixes cartilagosos é atribuída ao fígado, que produz ou absorve óleo, visto que os mesmos não possuem bexiga natatória. O óleo é menos denso que a água, contribuindo para uma flutuabilidade neutra nestes organismos. No início do desenvolvimento, a bexiga natatória é ligada ao trato digestório por meio de um ducto pneumático, que é mantido nos adultos de peixes fisóstomos, mas perdido nos peixes fisóclistos. Os pulmões são formados por uma complexa rede de túbulos e sacos, que variam consideravelmente entre as espécies. O principal caminho tomado na evolução dos pulmões foi o de adaptar-se ao aumento do tamanho corporal e das taxas metabólicas por meio do aumento da compartimentalização dos pulmões. O resultado foi que os espaços aéreos tornaram-se progressivamente menores em anfíbios, répteis e mamíferos (nesta ordem), mas o número total de espaços aéreos por unidade de volume do pulmão tornou-se cada vez maior. Nas aves os pulmões parabronquiais estão associados aos sacos aéreos, que promovem a ventilação destas estruturas.



### ATIVIDADES

O objetivo desta atividade é reconhecer de modo comparativo os diferentes órgãos e estruturas respiratórias dos peixes (ósseo e cartilaginoso), anfíbios, aves e mamíferos, buscando relacionar as variações observadas com os hábitos de vida destes animais. Para isso precisaremos de um exemplar de cada grupo para observação das estruturas que compõem o sistema respiratório.

Observe as estruturas determinadas para cada grupo.

#### PEIXE ÓSSEO

Tipo de brânquia – opercular.

- Brânquia formada por quatro pares de holobrânquias
- Arcos branquiais
- Filamentos branquiais
- Rastro
- Opérculo ósseo

#### PEIXE CARTILAGINOSO

Tipo de brânquia – septada

- Comparar com o grupo anterior a disposição dos filamentos branquiais
- Aberturas das fendas branquiais
- Em uma arraia localizar a abertura do espiráculo e das fendas branquiais

#### AMPHIBIA

- Retirar o tegumento e observar os vasos que irrigam o mesmo – respiração cutânea
- Narinas
- Coanas – aberturas situadas na região anterior do palato
- Faringe – região comum aos sistemas digestivo e respiratório
- Glote – abertura da laringe, em forma de fenda
- Laringe – tubo curto, sustentado por cartilagem. Nos anuros, está presente apenas nos representantes da família Pipidae.
- Pulmões

#### AVES

- Narinas
- Coanas – fenda longitudinal única no palato
- Faringe
- Glote – abertura da laringe
- Laringe – relativamente curta e reforçada por cartilagem
- Traqueia – ao longo do pescoço
- Siringe – região caudal alargada da traqueia, responsável pela produção de sons
- Brônquios primários – dois ductos que partem da siringe e penetram

nos pulmões

- Pulmões parabronquiais
- Sacos aéreos – estruturas de paredes finas que estão conectadas com o sistema pulmonar

### MAMMALIA

Para observar as três primeiras estruturas será necessário abrir amplamente a boca. Para isso, você terá que retirar, com um bisturi, parte da musculatura relacionada à mastigação e, se necessário, deslocar a mandíbula para proceder à abertura da boca.

- Coanas – complicadas de serem vistas em razão de sua posição bem posterior na cavidade oral
- Faringe – região comum aos sistemas respiratório e digestório
- Glote – representa a abertura da laringe; esta abertura é recoberta durante a deglutição pela epiglote
- Laringe – visível apenas com a retirada da musculatura do pescoço
- Traqueia
- Brônquios – ramificações a partir da traqueia
- Pulmões



### PRÓXIMA AULA

Na próxima aula estudaremos o conjunto de tubos que fazem o transporte interno de gases, nutrientes, resíduos metabólicos, hormônios e anticorpos. Estes tubos juntamente com a bomba (coração) que movimentam estas substâncias formam o que chamamos de sistema circulatório.



### AUTO AVALIAÇÃO

Antes de passar ao próximo conteúdo procure avaliar mentalmente o que foi visto em cada tópico, as principais características e adaptações aos ambientes em que os animais estão inseridos. Só passe para a aula seguinte quando realmente estiver seguro sobre o conteúdo trabalhado.

REFERÊNCIAS

- HILDEBRAND, M.; GOSLOW- JR, G.E. **Análise da estrutura dos vertebrados**. 2 ed. São Paulo, Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2006.
- HÖFLING, E.; et al. Chordata. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo. 1995.
- KARDONG, Kennet K. **Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution**. 4 ed. Boston: McGraw-Hill, 2006.
- POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4 ed. São Paulo Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2008.
- WALKER-JR, W.F.; LIEM, K.F. **Functional Anatomy of the Vertebrates**. 2 ed. Sauders College Publishing. Orlando, Florida. 1994.