

SISTEMA UROGENITAL

Meta

Nesta aula serão apresentadas as principais características e adaptações do sistema urogenital dos vertebrados.

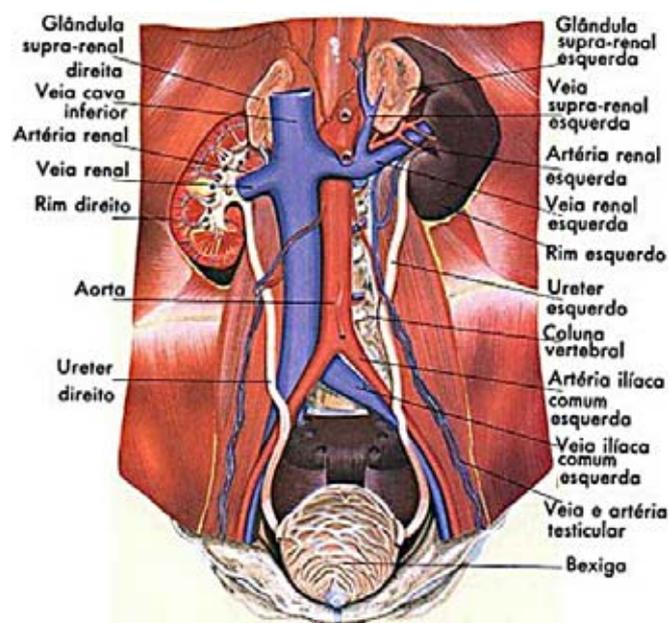
Objetivos

Ao final desta aula, o aluno deverá:

Ser capaz de identificar as estruturas que formam o sistema urogenital dos vertebrados, e entenda suas principais adaptações.

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 respiratório, circulatório e digestório ajudarão, também, no entendimento do sistema responsável pela filtração do sangue, manutenção do equilíbrio interno e reprodução nos vertebrados.



(Fonte: <http://2.bp.blogspot.com>)

INTRODUÇÃO

Para que uma espécie seja bem sucedida, dois quesitos básicos têm que ser contemplados. O primeiro diz respeito ao ambiente interno que deve ser equilibrado, para que as reações químicas, vitais à sobrevivência das células, se processem de forma rápida e eficiente. O segundo refere-se à perpetuação da espécie, onde um organismo deve ser capaz de passar seus genes a outras gerações.

O metabolismo celular gera várias substâncias que devem ser eliminadas. Algumas delas são liberadas pelas superfícies respiratórias, como o CO₂. Porém, os resíduos nitrogenados (azotados) devem ser retirados, em sua maioria, pelos órgãos excretores. Cabe a eles também gerenciar os níveis hídricos e de sais do corpo.

O processo de manutenção da composição dos fluidos corporais, dentro de limites adequados à vida das células, é conhecido por homeostasia. Os principais mecanismos envolvidos nesse processo são: 1) a osmorregulação, que controla as concentrações de sais e água dos fluidos corporais e 2) a excreção, responsável pela retirada dos resíduos metabólicos, indesejáveis ao corpo.

Em organismos unicelulares (e.g. protozoários, bactérias) ou “multicelulares simples” (e.g. esponjas, água-viva), os resíduos azotados são eliminados por difusão através da superfície do corpo. Já nos animais mais complexos, esta função é desempenhada por sistemas especializados, formado pelos órgãos excretores (e.g. rim, **nefrídeo**).

Apesar de funcionalmente distintos, o sistema excretor (urinário) e o sistema reprodutor (genital), são trabalhados tradicionalmente juntos como um sistema urogenital. A associação destes dois sistemas é anatômica e se dá ao nível dos ductos que drenam a urina e os gametas. Resumidamente o sistema excretor tem por funções: 1) remoção de excretas nitrogenadas e de outras substâncias danosas, 2) eliminação quantidades controladas de água e sais, mantendo assim o ambiente interno dentro de estreitos limites necessários à vida. Já o sistema reprodutor é responsável por 1) produzir as células sexuais, 2) propiciar o encontro dos gametas, 3) nutrir o embrião e 4) liberar os gametas, ou os ovos, ou os filhotes para o meio externo.

Nefrídeo

Órgão, presente em alguns invertebrados, responsável pela retirada de excretas do celoma e dos vasos sanguíneos que o cercam e eliminá-los para fora do corpo pelos poros excretores ventrais, na forma de uma espécie de urina, rica em amônia e uréia, mantendo a estabilidade química do organismo

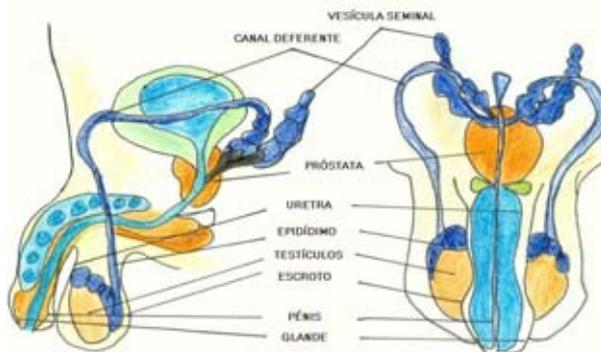


Diagrama representando os sistemas reprodutores masculino e feminino humanos (Fonte: <http://clubedasaude.no.sapo.pt>)

DESENVOLVIMENTO

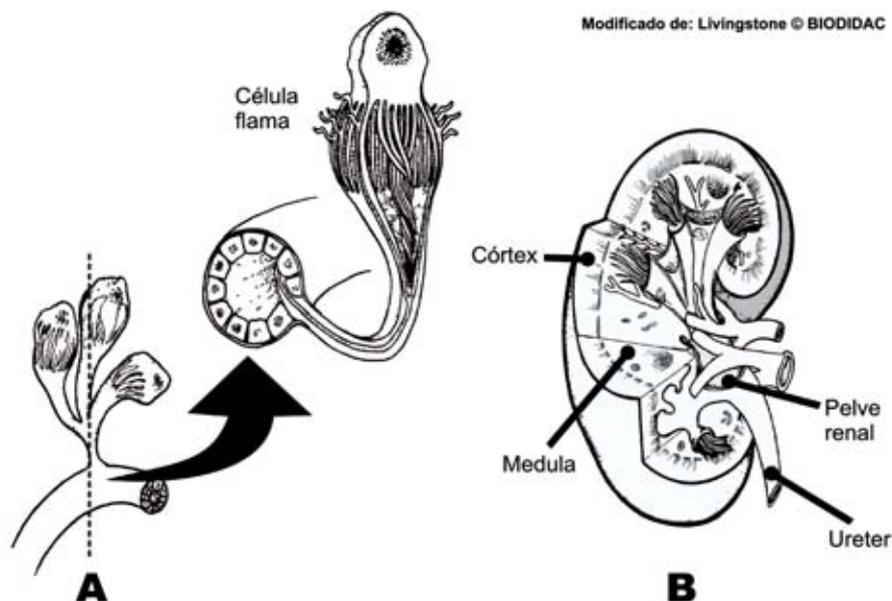
Para facilitar o entendimento, este conteúdo será dividido em duas partes: a primeira referente às estruturas que compõem o sistema excretor, e por último as do sistema reprodutor.

SISTEMA EXCRETOR

RINS

O principal órgão responsável pela excreção dos adultos dos vertebrados é o rim. Porém outros órgãos podem contribuir para a retirada de resíduos do corpo como as brânquias, os pulmões, a pele, partes do sistema digestório e as glândulas de sal.

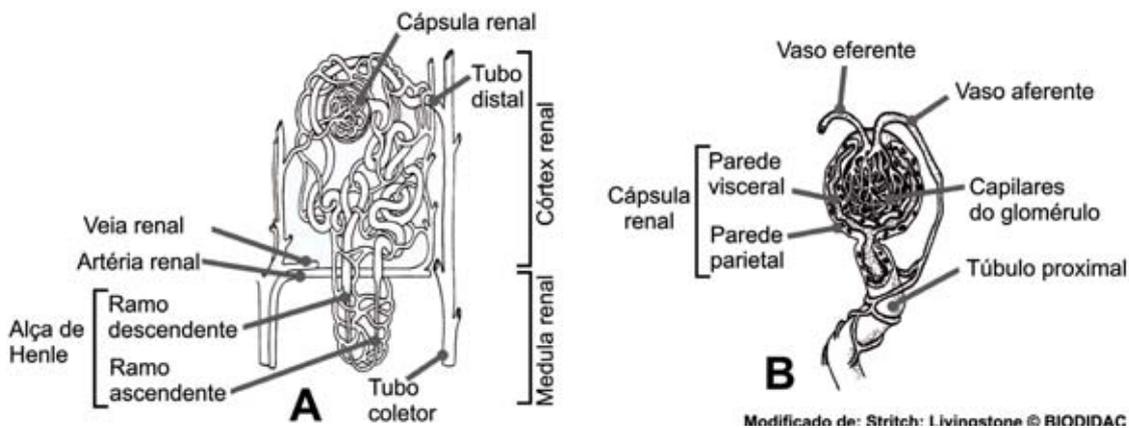
Os rins podem ser divididos em protonefrídios e metanefrídios. O primeiro é encontrado em invertebrados, possui sua origem no ectoderma e seus ductos se abrem diretamente para o meio externo através de poros excretores. Já o segundo, é típico dos vertebrados, são órgãos compactos de origem mesodérmica, formados por numerosos tubos néfricos (túbulos renais) que se abrem no celoma geral ou em espaços em forma de cálice, as cápsulas renais, que são derivadas do celoma.



Tipos de rins: protonefrídio (A), representado neste caso por uma célula flama de uma planária e metanefrídio (B).

A unidade funcional de um rim é conhecida por néfron, que é constituído de um túbulo associado a um corpúsculo renal. Este corpúsculo é

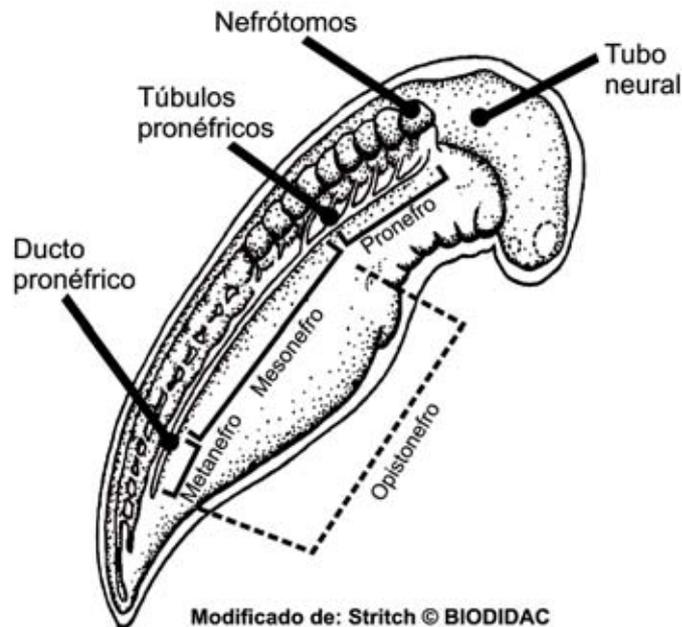
uma estrutura formada da união de um glomérulo (nós de capilares responsáveis pela filtração do sangue) e uma cápsula renal (cápsula de Bowman). As células que formam a parte interna da cápsula, em vertebrados mais derivados, envolvem os capilares do glomérulo. Suas células, denominadas podócitos, possuem várias projeções digitiformes, os pedicelos, que reduzem os espaços existentes no endotélio capilar, resultando assim em um ultrafiltro renal. O glomérulo é dito interno, quando a rede capilar que o forma é circundada por uma cápsula renal, ou externo, se a cápsula não estiver presente. O néfron pode ser dividido em três regiões principais: (1) o néfron proximal (cápsula de Bowman e túbulo proximal). (2) alça de Henle (ramo descendente e um ramo ascendente). (3) túbulo distal, que se junta a um túbulo coletor que serve a vários néfrons.



Estrutura de geral de um néfron (A) e de um corpúsculo renal (B).

ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DO RIM

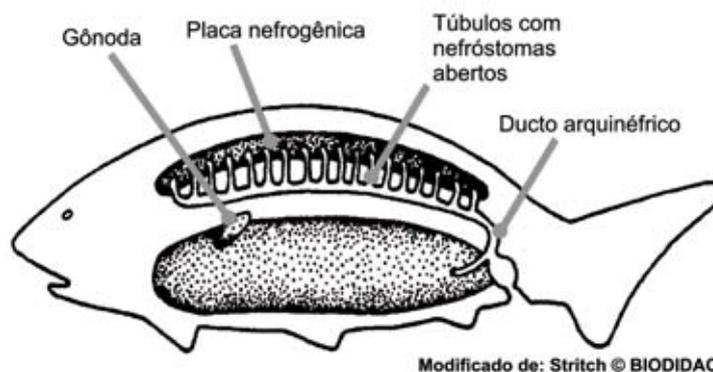
Durante a neurulação, o mesoderma embrionário diferencia-se, em cada lado do corpo, em: um epímero dorsal segmentado; um pequeno mesômero; e um hipômero ventral não segmentado. A região conhecida por epímero dá origem à derme e seus derivados, a boa parte dos músculos axiais e alguns apendiculares, à musculatura da garganta e parte das vértebras. Já o hipômero contribui para a formação de parte da musculatura axial e dos membros, coração, músculos do sistema digestório, mesentério e esqueleto. O mesômero é alongado, podendo ser até um pouco mais comprido do que o próprio celoma. Esta região é que dá origem ao sistema urogenital. O mesômero, em sua parte mais cranial, torna-se segmentado, formando os nefrótomos (cada unidade). Já a porção caudal dá origem a um cordão nefrogênico, não segmentado. Os nefrótomos e o cordão nefrogênico acabam se fundindo em determinado momento do desenvolvimento embrionário.



Desenvolvimento do rim em um embrião generalizado de vertebrado, destacando as regiões nefrotômicas.

Em todos os embriões de vertebrados os rins são compostos de três porções: pronefro, mesonefro e metanefro. Dependendo da(s) porção(ões) do tecido nefrogênico (mesômero) em que o rim se forma ele pode ser classificado em: holonefro (arquinefro), pronefro, mesonefro, metanefro e opistonefro.

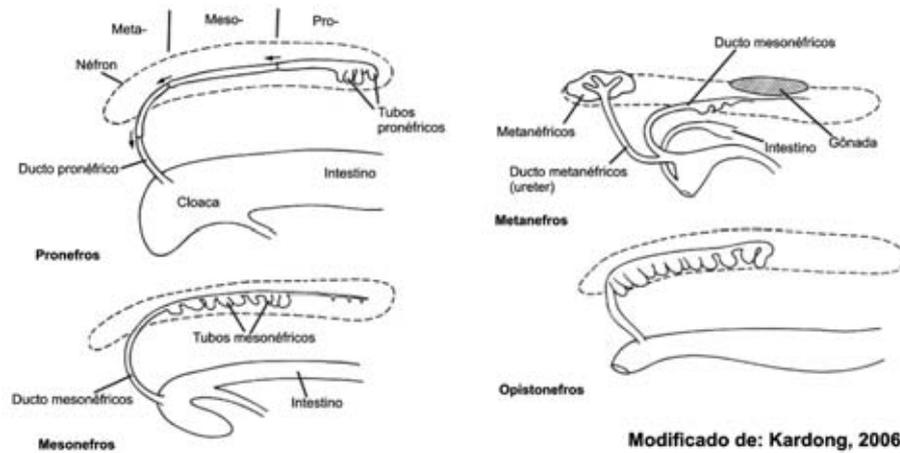
O rim holonefro (rim ancestral) constitui o padrão hipotético dos primeiros vertebrados. Provavelmente era derivado de todo o mesômero, apresentando-se comprido e com segmentação ao longo de quase todo o seu comprimento. Cada par de nefrostômios apresentava um par de túbulos. Este rim é encontrado atualmente apenas nas larvas de feitiças e de cecílias (cobras-cegas).



Holonefro, rim hipotético dos primeiros vertebrados.

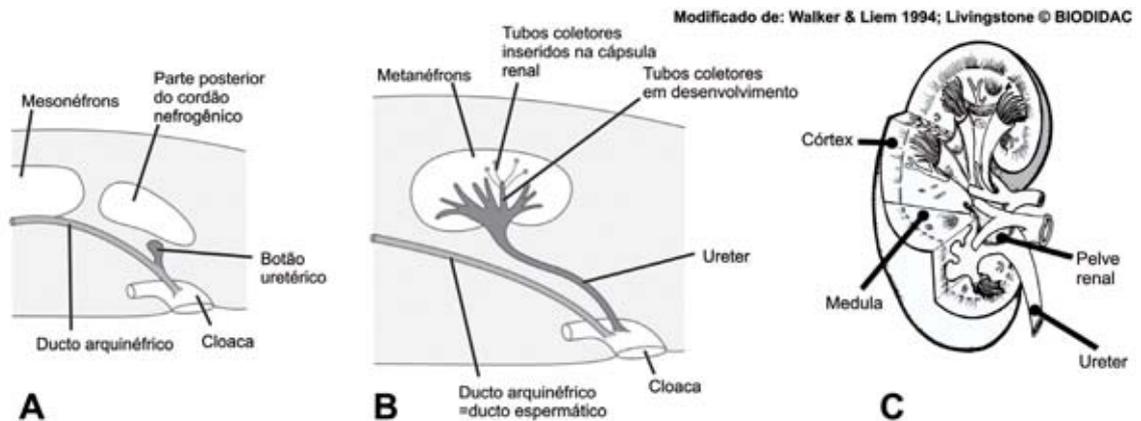
Cordados I

Durante a diferenciação do mesômero, o primeiro rim a ser formado, e também o mais cranial, é conhecido como pronefro. Este é alongado e segmentado e possui vários túbulos pronéfricos e um ducto pronéfrico em cada rim. Ele está presente em todos os embriões dos vertebrados, sendo funcional nas larvas de vida livre dos peixes ósseos e anfíbios, possivelmente nas feições adultas, e brevemente nos embriões de alguns répteis. O segundo intervalo do mesômero a se desenvolver resulta em um rim médio (mesonefro) seguido de um caudal (metanefro). O rim mesonefro é funcional nos embriões amnióticos e contribui para a formação do rim opistonefro dos adultos de peixes e anfíbios. O rim opistonefro é formado quando todo ou quase todo o mesômero após a região pronéfrica forma um único rim.



Tipos de rins dos vertebrados.

Como já foi colocado, o último rim a se desenvolver é o metanefro. Este rim é típico dos adultos dos amniotas, e, diferente dos demais, possui uma origem dupla. Do botão uretérico temos a formação do ureter, já da parte posterior do cordão nefrogênico, origina-se o rim propriamente dito. Note que o botão uretérico surge do ducto mesonéfrico próximo de sua entrada na cloaca. Túbulos coletores são também formados da ramificação do ureter no interior do rim. O rim metanefro pode ser simples, como observado em vários mamíferos, variável em répteis (podendo ser lobulado) e trilobulados nas aves. Nos mamíferos o rim apresenta um espaço coletor chamado pelve renal, que recebe a urina proveniente de uma ou mais papilas renais que se projetam para dentro da pelve.



Estágios de desenvolvimento (A – início de formação e B – final) do rim metanefro de um mamífero. C – Estrutura interna de um rim metanefro de um homem.

EVOLUÇÃO DOS RINS

Os fluidos corpóreos da maioria dos vertebrados são normalmente hipotônicos em relação à água do mar e hipertônicos em relação à água doce. Mas você deve estar se perguntando, no que isso pode influenciar na vida de um organismo? Animais que vivem associados à água doce, em geral possuem maior concentração osmótica, o que leva, normalmente, a um ganho de líquido proveniente do meio. Já nos vertebrados marinhos, a pressão osmótica é menor, havendo perda de líquido para o ambiente. Como é interessante para um animal manter um equilíbrio interno, adaptações distintas foram necessárias para cada uma das situações anteriormente relatadas. É justamente sobre estas adaptações que iremos discutir neste tópico.

Em peixes de água-doce e anfíbios, ocorre uma entrada constante de água do ambiente para o animal, principalmente pelas brânquias e membranas orais, e um pouco menos pelo tegumento, que pode ser moderadamente impermeável. Outra fonte de água a ser considerada é aquela proveniente do alimento. Para manter o equilíbrio hídrico, esses animais praticamente não ingerem água, e ainda assim necessitam eliminar grandes quantidades de urina. Mesmo sendo bastante diluída, e havendo uma reabsorção de sais a partir do ultrafiltrado, a urina se mantém hipertônica em relação ao ambiente, levando assim à perda de grandes quantidades de sal, sendo necessária a sua reposição. Peixes de água doce fazem isso por meio das brânquias, e os anfíbios através do tegumento, ambos utilizando o transporte ativo.

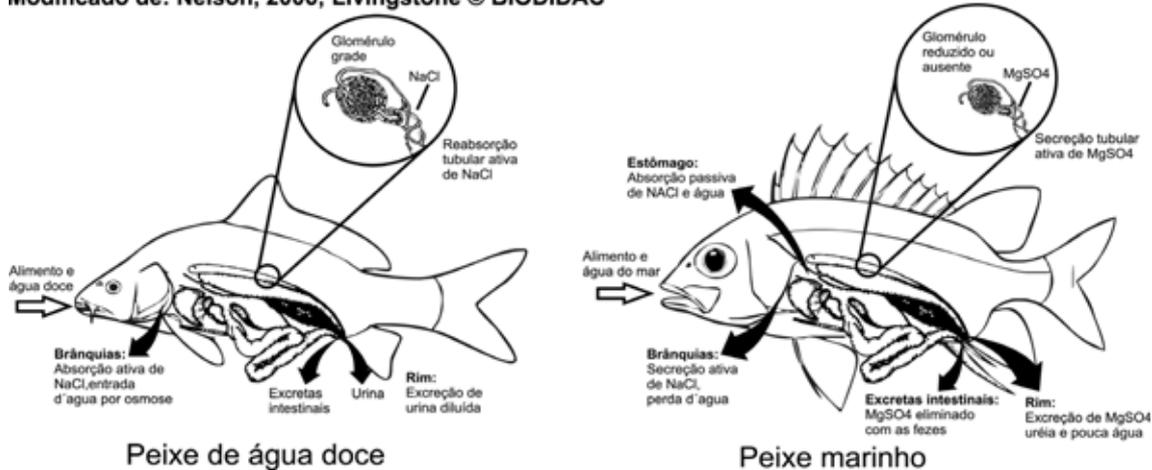
Cordados I



Osmorregulação em anfíbios.

Ao contrário dos organismos anteriores, os peixes ósseos marinhos tendem a perder água para o meio (hipertônico em relação ao animal) através de suas brânquias. Nestes a solução foi eliminar pouca urina e beber água. Mas existe um problema aí, a água do mar possui grandes quantidades de sal, que se mantidas dentro do corpo do peixe podem prejudicá-lo. Para evitar isso o peixe é munido de células de cloreto em suas brânquias, responsáveis pelo transporte ativo de íons monovalentes, e os túbulos proximais dos rins excretam íons bivalentes. Nos peixes de água doce, as células de cloreto são responsáveis pela absorção ativa de sal.

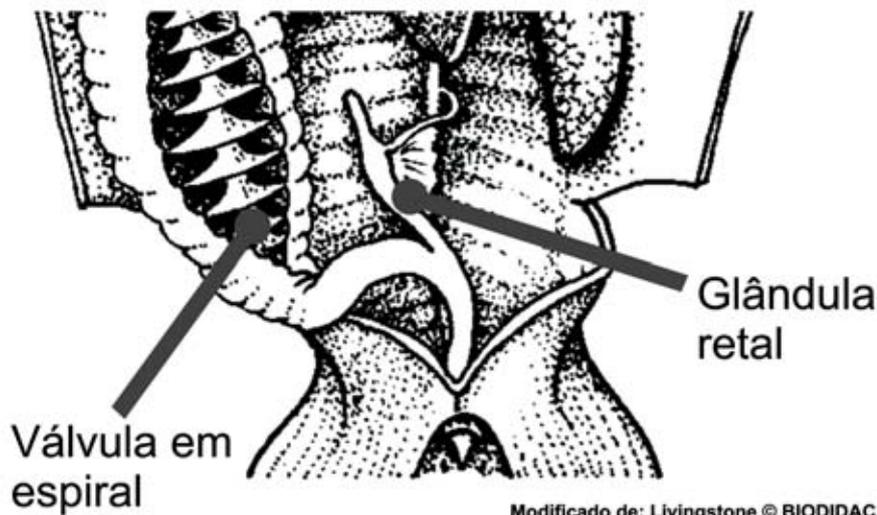
Modificado de: Nelson, 2006; Livingstone © BIODIDAC



Osmorregulação em peixes.

Os peixes cartilaginosos marinhos resolveram o problema do equilíbrio hídrico tornando-se ligeiramente hiper-osmóticos, por meio da retenção da ureia no sangue e da produção de um volume moderado de urina. A ureia possui pouca toxicidade e seu excesso é excretado pelos rins e pelas brânquias.

Um pouco de água pode entrar pelas brânquias ou mesmo ser bebida, indo junto o sal (eletrólitos inorgânicos), cujo excesso é eliminado pelos rins e pela glândula retal, que se abre na parte caudal do intestino.



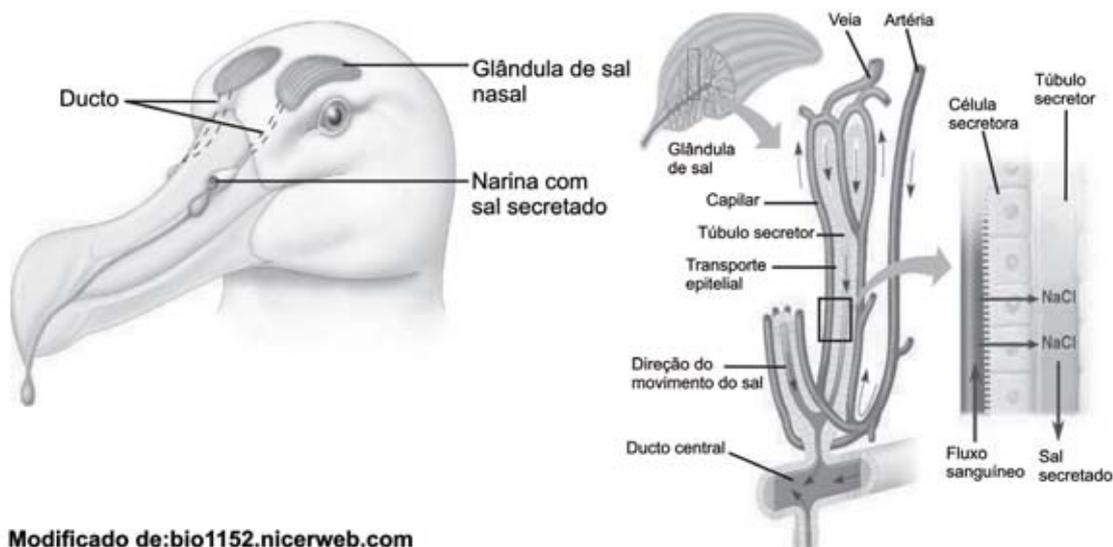
Glândula retal de um tubarão.

Os amniotas estão sujeitos à desidratação através de seus epitélios respiratórios e pela pele. Os animais terrestres desenvolveram diferentes mecanismos para economizar água, porém o mais importante é realizado pelo rim, principalmente no grupo dos mamíferos. Grande parte das aves e dos répteis não dispõem de quantidade suficiente de água para a produção de uma urina diluída. Por conta disso, esses animais excretam ácido úrico, que requer pouquíssima água, podendo ser eliminado em um estado pastoso (semi-sólido). Não sei se você já reparou uma massa esbranquiçada que sai junto com as fezes das aves ou mesmo dos lagartos. Esta substância é composta pelo ácido úrico. Como aves e répteis apresentam uma bolsa (cloaca) que recebe os ductos provenientes dos sistemas digestório, excretor e reprodutor, junto com as fezes, que é o produto final da digestão, temos a eliminação também das excretas.

Algumas espécies de répteis e de aves marinhas (e.g. iguanas, tartarugas, crocodilos, serpentes marinhas, cormorões, albatrozes, gaivotas, etc.) ingerem quantidades razoáveis de sal junto com seu alimento ou mesmo na água. Estes animais não são capazes de extrair todo o excesso de sal na urina. Nestes casos, uma solução muito concentrada é secretada pelas glândulas de sal que, dependendo da espécie, podem estar localizadas próximas aos olhos, das maxilas, na língua ou no interior da câmara nasal. Não sei se já viu algum documentário sobre as ilhas Galápagos, mas se não viu, está aí uma boa oportunidade para conhecer e aprender um pouco mais. Nestes documentários é comum aparecerem as famosas iguanas marinhas, tão re-

Cordados I

latadas por Darwin após a sua visita ao arquipélago. Estes animais comem grandes quantidades de algas durante seus mergulhos, e, conseqüentemente, ingerem água do mar. De tempos em tempos eles vão para cima das rochas, expostas ao sol, para se aquecerem (termorregular) e em determinados momentos lançam sob a forma de “espirros” nuvens de uma salmoura, eliminando assim o excesso de sal do seu corpo. Mamíferos marinhos não possuem glândulas de sal, esses evitam beber a água do mar, satisfazendo suas necessidades inteiramente com a água dos alimentos.



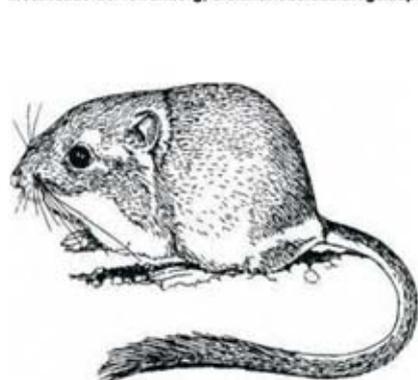
Modificado de: bio1152.nicerweb.com

Glândula de sal em uma ave marinha.

Os rins dos mamíferos são os mais eficientes em termos de retornar água para o sangue do animal. Esses animais excretam ureia, que é removida do sangue por poderosos corpúsculos renais, e ganha o meio externo diluída no filtrado. Mamíferos que vivem em desertos podem utilizar caminhos variados para evitar a perda de água para o ambiente. Espécies de pequeno porte, como o rato canguru norte-americano (*Dipodomys merriami*), minimizam os efeitos negativos das condições adversas do deserto de diversas maneiras. Esses animais extraem a água, essencial a sua sobrevivência, da oxidação dos alimentos em seus trato digestórios, e são muito bons nisso, visto que os principais itens de sua dieta são grãos secos e duros. Assumem também um padrão de atividade noturno. Durante o dia esses pequenos roedores evitam exercícios, ficando recolhidos em suas tocas. Seus rins são extremamente eficientes, o que evita grandes perdas de líquido para o meio e, além de tudo, a parte mais caudal de seus tubos digestórios, o reto, é uma região de grande absorção de água nestes animais. Os desertos abrigam também mamíferos grandes, como os camelos e dromedários, que ao contrário dos ratos cangurus, não podem utilizar tocas nos momentos mais

quentes do dia. Estes animais normalmente produzem fezes secas e urina concentrada. Possuem a capacidade de cessar a transpiração nos momentos em que a água não está disponível para ingestão. Como a transpiração é um dos mecanismos adotados pelos mamíferos para a redução da temperatura corpórea, esta função permanece temporariamente sem uso, até que este possa novamente beber água. Em relação aos outros mamíferos, camelos e dromedários são mais tolerantes a altas temperaturas. Podem inclusive oscilar suas próprias temperaturas corpóreas baixando a 35°C no período noturno e chegando a 41°C durante o dia. Nos períodos sem água também não produzem urina, estocando a uréia nos tecidos, semelhante ao que fazem os tubarões.

Modificado de: icwdm.org; dicionariobaldas.blogspot.com; dss.ucar.edu



Rato canguru



Camelo



Dromedário

Rato canguru , camelo e dromedário.

SISTEMA REPRODUTOR

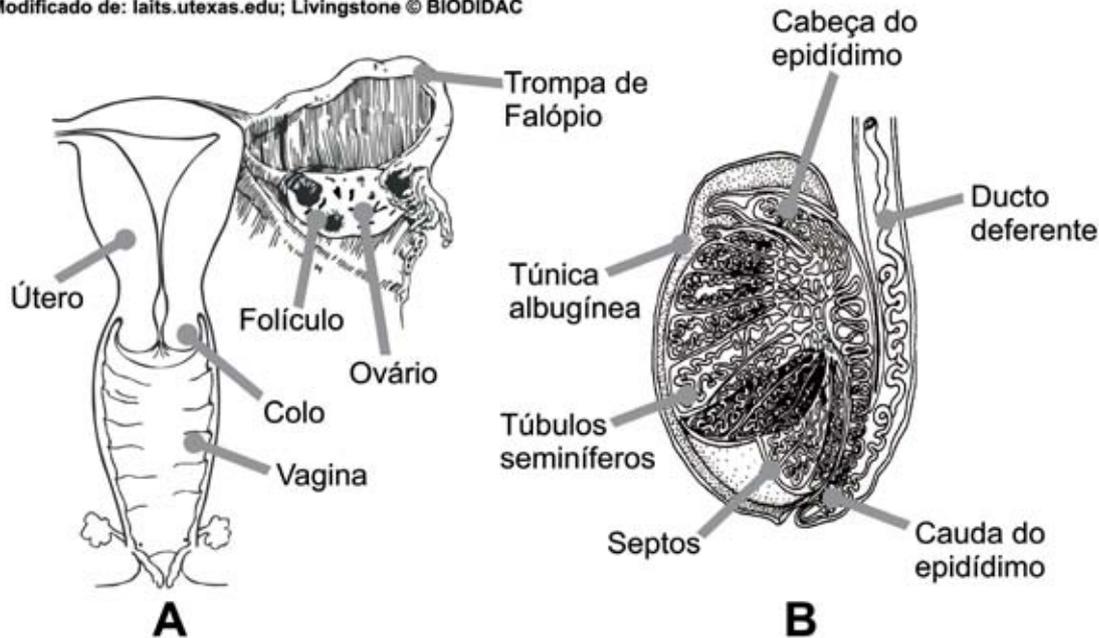
Como foi visto, o sistema urogenital pode ser decomposto em dois outros sistemas, o sistema excretor, trabalhado anteriormente, e o sistema reprodutor. Deste tópico em diante será dada maior atenção aos órgãos reprodutores e aos ductos urogenitais dos vertebrados. Lembrando que os órgãos reprodutores são aqueles responsáveis pela produção e união dos gametas, nutrição do embrião (ou ovos) e liberação dos ovos ou jovens do corpo materno.

Estes órgãos se originam do mesômero e das células sexuais primitivas, que se formam na base do saco vitelino. Cristas genitais são geradas a partir do mesômero, e de suas partes cranial e caudal formam-se os corpos adiposos e o mesentério que sustentam as gônadas. Sobre a parte central da crista genital ocorre o espessamento do revestimento do celoma, resultando no epitélio germinativo embrionário e mais tarde na própria gônada.

ESTRUTURA DAS GÔNADAS

As estruturas responsáveis pela produção dos gametas são conhecidas por gônadas, que nos machos são representadas pelos testículos e nas fêmeas pelos ovários. Estas estruturas, mesmo variando em alguns táxons, são razoavelmente conservativas, fornecendo boas evidências das linhagens evolutivas.

Modificado de: laits.utexas.edu; Livingstone © BIODIDAC



Exemplo de gônadas presentes nos vertebrados. A. ovário e B. testículo.

Nos ovários estão presentes as várias oogônias, que após o seu amadurecimento formam o que chamamos de ovócito. Células foliculares e tecas (envelopes de revestimento do folículo) são formadas a partir de cordões sexuais secundários. Estas células são responsáveis pela nutrição e sustentação dos ovócitos em amadurecimento. Após a ovulação, os folículos são convertidos em corpos lúteos nos mamíferos e em alguns elasmobrânquios e aves, assumem funções endócrinas.

Dependendo da espécie, os ovários podem ser longos, compactos ou achatados, lisos ou granulados, sólidos ou frouxos. Seu tamanho pode variar em função da condição reprodutiva ou ocorrer ainda de se fundirem (lampreias e muitos teleósteos) ou de serem suprimidos parcial ou totalmente em um dos lados (o direito em feiticeiras e maioria das aves e o esquerdo em várias espécies de peixes cartilagosos). Os ovos produzidos nos ovários podem variar em tamanho, em função da quantidade de vitelo presente. Em geral poucos ovos são produzidos se estes apresentarem

grandes quantidades de reserva ou se forem mantidos com a mãe até o final do desenvolvimento.

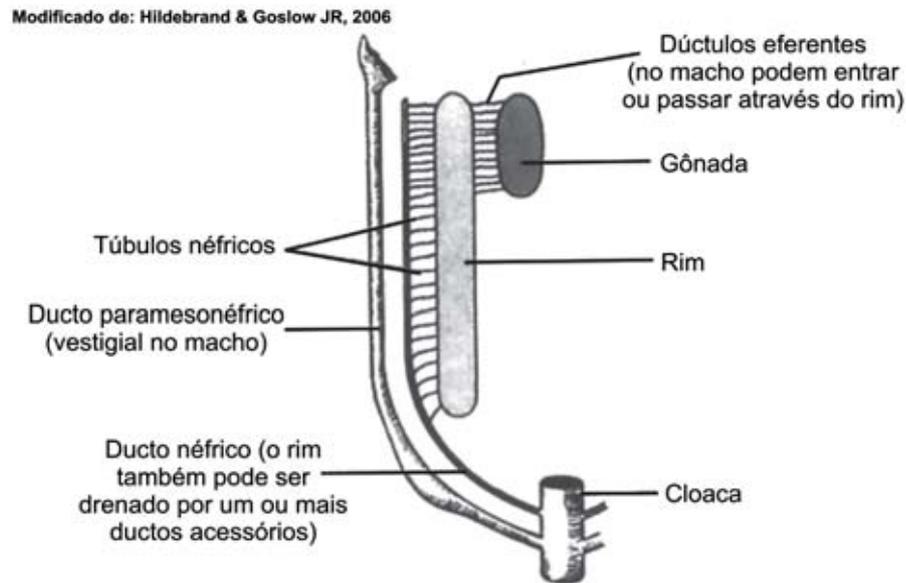
Os testículos são as estruturas responsáveis pela produção dos espermatozoides. São alongados em vertebrados delgados (agnatos, maioria dos peixes, cobras-cegas e salamandras), porém são compactos e ovoides em alguns condrícties, anuros (sapos, rãs e pererecas) e amniotas. Comparados às gônadas das fêmeas, estes se desenvolvem um pouco mais cedo. Nestes o epitélio germinativo forma apenas o revestimento peritônio do testículo adulto. Os cordões sexuais primários, que nas fêmeas degeneram, podem formar nos machos os túbulos seminíferos (amniotas), ampolas seminíferas (agnatos) ou estruturas intermediárias. Os cordões sexuais secundários nem chegam a ser formados. Centenas de túbulos seminíferos podem estar presentes, e associados a suas paredes internas as células germinativas em diferentes estágios de maturação. As gônadas dos machos normalmente são mais lisas, mais firmes e menores do que os ovários. O mais comum é a presença de um par de testículos, porém podem estar parcial (alguns elasmobrânquios) ou totalmente (adultos de agnatos) fundidos.

Os testículos são recobertos por uma camada de tecido conjuntivo, a túnica albugínea. Apresentam lobulações internas mais pronunciadas que os outros grupos e septos separando lóbulos adjacentes. Os testículos dos mamíferos podem assumir uma posição abdominal ou pelvina, em espécies cujas temperaturas do corpo são relativamente baixas (baleias, elefantes, ornitorrincos), ou descerem, quando maduros, para o interior da bolsa escrotal, em espécies com temperatura corporal mais elevada. A explicação disto é relativamente simples. A espermatogênese só ocorre em temperaturas abaixo de 36,5°C, em espécies com temperaturas mais elevadas, esta condição é conseguida com a descida dos testículos para o escroto. Por isso que nos homens a posição ocupada por essas estruturas é variada. Em períodos mais frios, ficam próximos ao corpo, já nos mais quentes a tendência é o afastamento. Isso se dá pela ação dos músculos escrotais.

DUCTOS UROGENITAIS E ÓRGÃOS ACESSÓRIOS

Nos peixes agnatos estão presentes apenas os ductos néfricos. Por conta disto, ovócitos e espermatozoides são lançados na cavidade celomática, passando à cloaca por meio dos poros genitais. Demais vertebrados apresentam dois pares de ductos urogenitais semelhantes entre os sexos. No final do período indiferenciado do desenvolvimento, estes ductos se modificam nas estruturas próprias de cada sexo. Um dos pares corresponde aos ductos néfricos já discutidos anteriormente e o outro recebe o nome de paramesonéfrico.

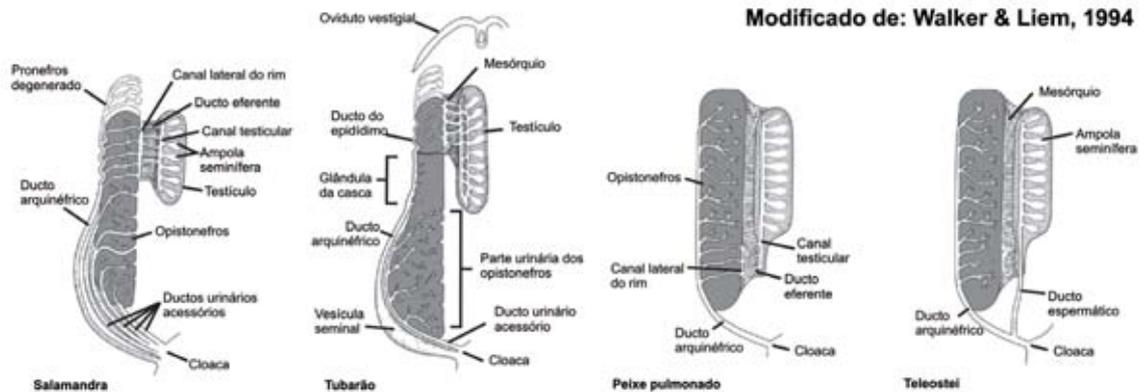
Cordados I



Principais ductos urogenitais em uma fase precoce de formação.

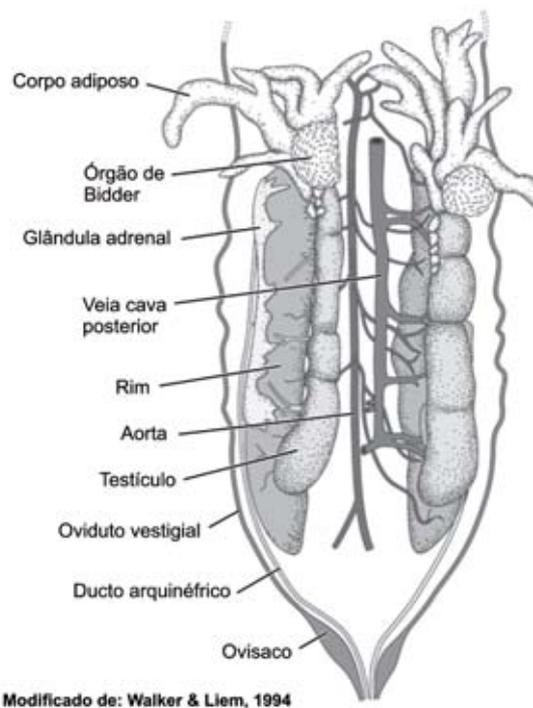
Os ductos paramesonéfricos dos machos sempre regridem. Como já foi comentado, os machos de feiticeiras lançam seus espermatozoides diretamente no celoma. Nos demais grupos um sistema de ductos se faz presente para o transporte. As células espermáticas, que saem de cada testículo, são encaminhadas para mais ou menos doze ductos eferentes, originados a partir dos túbulos néfricos craniais que desembocam no ducto néfrico, agora chamado de ducto deferente (pode transportar apenas esperma, ou esperma e urina). O ducto deferente participa também da estocagem temporária do esperma, e se contrai para ejacular seu conteúdo. A parte cranial de cada ducto torna-se convoluta originando o epidídimo. Neste local ocorre o armazenamento e o acréscimo de líquidos. Já a parte caudal do ducto se expande, formando a vesícula seminal que também armazena esperma.

Nos peixes cartilaginosos os ductos transportam apenas esperma e as vesículas seminais podem se fundir antes de chegar à cloaca. Já nos peixes ósseos os ductos podem levar tanto esperma como urina. Nos anfíbios, os ductos deferentes podem transportar somente esperma ou também urina, dependendo da espécie. Ductos acessórios podem também ocorrer caso necessário. Em geral estes animais possuem vesícula seminal, e em alguns os epidídimos podem estar presentes. Nos amniotas, os ductos deferentes fazem o transporte apenas de esperma, havendo a formação de um epidídimo (reduzido nas aves). Répteis e aves apresentam vesículas seminais, e em mamíferos estão presentes evaginações glandulares do ducto deferente, as glândulas vesiculares. Neste caso esta estrutura aumenta os fluidos seminais, porém não armazena esperma. A classe apresenta ainda uma glândula prostática, evaginação da uretra, que contribui para o líquido seminal.



Vista ventral dos ductos reprodutivos de machos de anamniotas e suas relações com os ductos excretores.

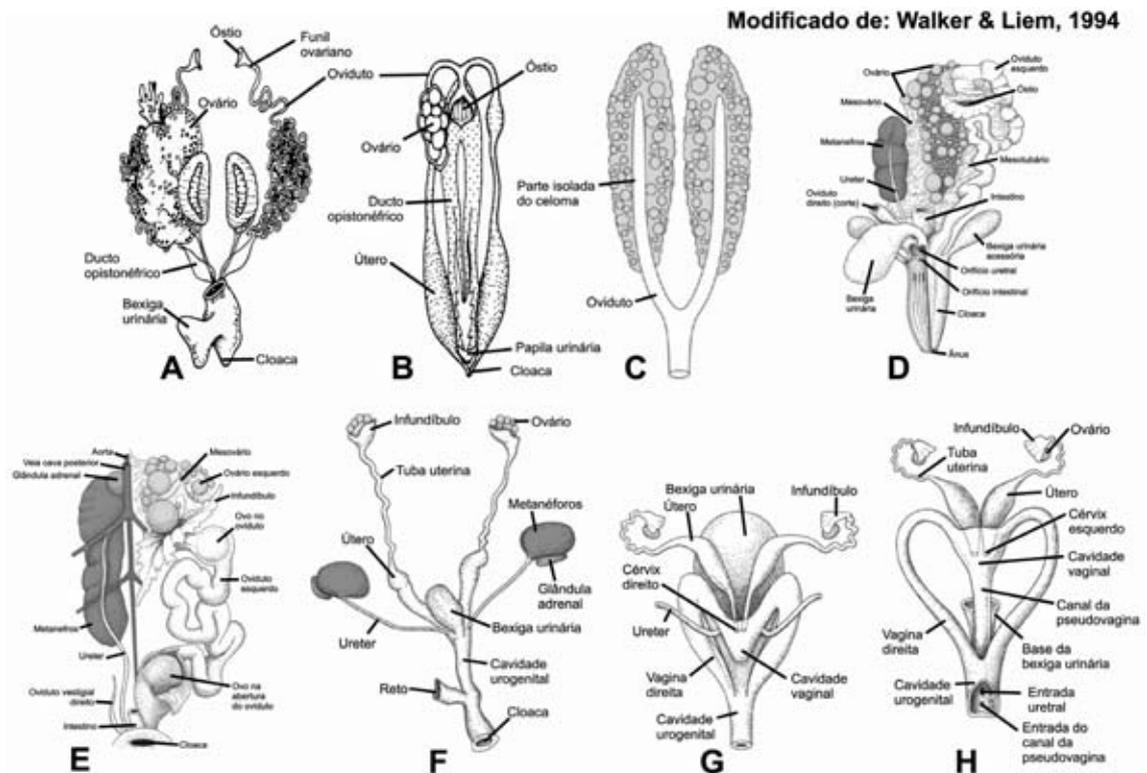
Um caso interessante ocorre nos machos dos representantes da família Bufonidae (“sapos cururus”). Estágios diferenciados de desenvolvimento das gônadas podem ser observados neste grupo, em que a parte mais cranial é representada por uma forma de tecido ovariano (órgão de Bidder) e a mais caudal pelos testículos. Apenas uma parte da gônada é funcional, porém existe uma potencialidade à reversão sexual. Quando os machos mais velhos param as funções de seus testículos, o órgão de Bidder pode se tornar um ovário funcional.



Vista ventral do sistema urogenital de um macho de sapo, evidenciando a estrutura do órgão de Bidder.

As fêmeas possuem menos variações em seus ductos, e os seus órgãos excretores e reprodutores apresentam-se mais independentes entre si. Nestas os ductos opistonéfricos e ureteres drenam apenas urina.

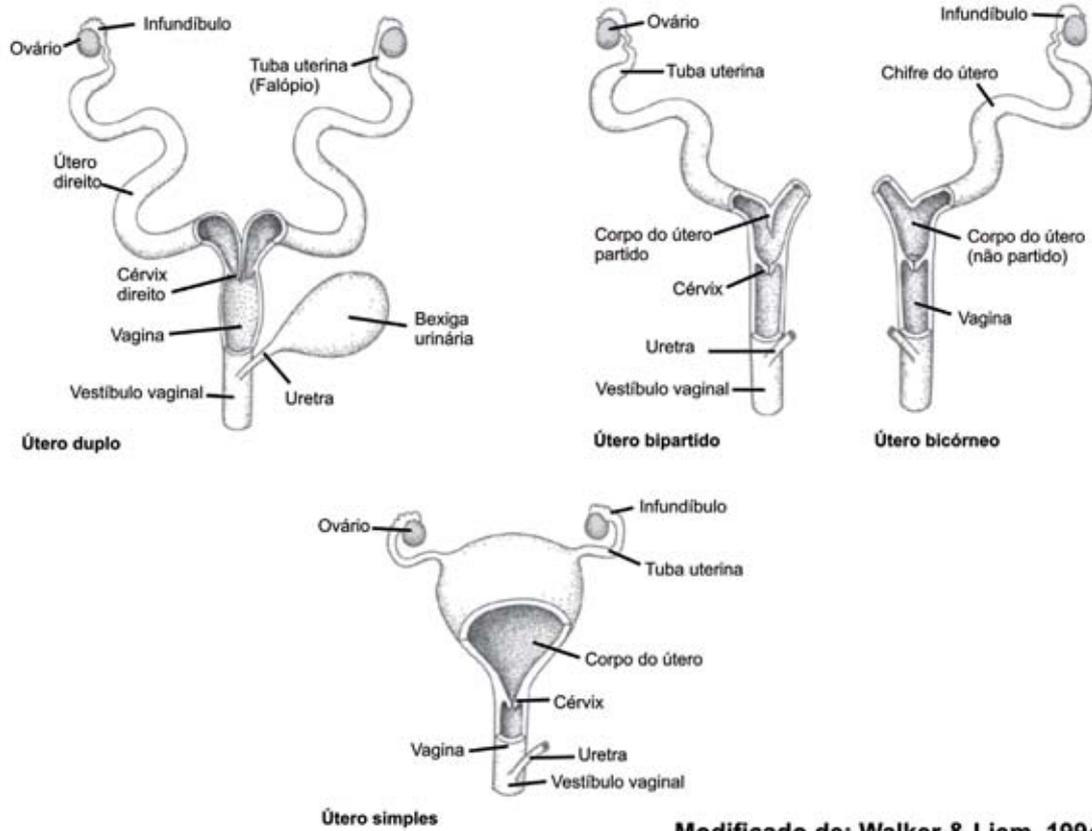
Os ovários em desenvolvimento dos teleósteos se dobram formando “pacotes de celoma” onde os ovócitos são liberados. A partir das cristas genitais ocorre a formação de pequenos ovidutos. Nas fêmeas dos outros gnátostomados, os ovócitos são lançados no interior do celoma e são capturados pelos funis ovarianos, passando a um sistema de ductos, os ovidutos, derivados dos ductos paramesonéfricos. Nos peixes cartilaginosos os ovidutos apresentam as glândulas da casca, responsáveis por envolver os ovos com albumina e, em alguns, com uma casca córnea. Neste grupo pode ocorrer também a retenção de ovos em desenvolvimento em ovissacos ou em úteros alargados. Em anfíbios os ovidutos são glandulares e convolutos. São responsáveis por acrescentar material gelatinoso aos ovos, que permanecem estocados temporariamente em ovissacos, e em algumas espécies, os embriões podem se desenvolver nos ovidutos. Répteis, aves e monotremados produzem grandes ovos. Em répteis o lado direito do trato pode ser maior, enquanto nas aves ele é vestigial. Durante o percurso nos ovidutos os ovócitos recebem camadas de albumina e no final do trato, próximo à cloaca existe uma combinação de glândula da casca e ovissaco. Nos mamíferos térios (os que não fazem postura de ovos) o trato genital é dividido em três partes: oviduto, útero(s) e vagina. O oviduto conduz o(s) ovo(s) até o útero, local onde o(s) embrião(ões) se desenvolve(m). Já a vagina funciona como local de recepção do pênis durante a cópula e como canal do parto. Nos monotremados o trato genital é par e nos marsupiais, a parte terminal se funde formando um único canal urogenital. Os marsupiais retêm os dois úteros e as duas vaginas e mais uma vagina é acrescentada, a pseudovagina. Nos demais mamíferos ocorre a fusão dos primórdios embrionários da vagina podendo se estender até o útero.



Sistema reprodutor generalizado das fêmeas de anfíbios anuros (A), tubarões (B), peixes ósseos (C), tartarugas (D), aves (E), monotremados (F) e marsupiais (G e H).

Os úteros podem ser classificados em: A) duplo, quando for totalmente dividido (e.g. monotremados, marsupiais, elefantes entre outros); B) bipartido, possui uma forma de um “Y”, mas internamente é quase totalmente dividido (e.g. maioria dos ungulados e dos carnívoros); C) bicórneo, a fusão é quase completa, embora não inclua a extremidade cranial do órgão (e.g. alguns membros de diversas ordens); D) simples, com uma única câmara uterina (e.g. maioria dos primatas, alguns **cingulatas**).

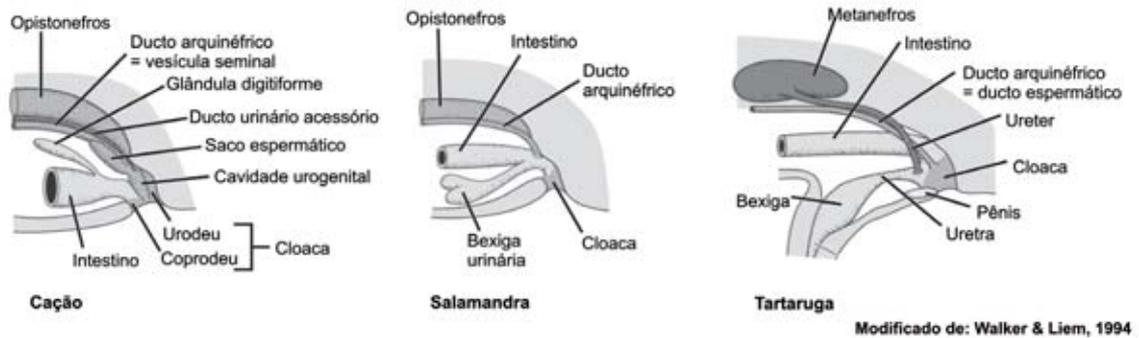
Cingulata – atual ordem dos tatus]



Tratos reprodutivos das fêmeas de mamíferos eutérios, mostrando os tipos de úteros.

CLOACA E DERIVADOS

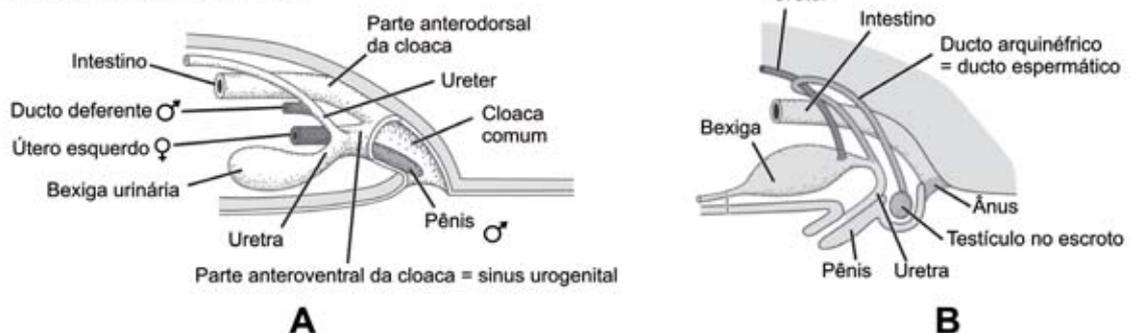
Durante a formação dos rins, os ductos néfricos se desenvolvem unindo-se à parte caudal do intestino previamente formado. O mesmo ocorre só que um pouco mais tarde com os ductos paramesonéfricos. Esta região comum, onde passam os produtos dos sistemas digestório e urogenital, é conhecida por cloaca. A cloaca é mantida nos adultos de feiticeiras, elasmobrânquios, dipnóicos, anfíbios, répteis e aves. Já os adultos de lampreias, quimeras e peixes ósseos não mantêm a ligação dos ductos urogenitais ao intestino. Neste caso a parte mais caudal do tubo digestório forma o reto, e os ductos néfricos e genitais se abrem independentemente no corpo ou se unem, ganhando o meio externo por meio de uma papila comum.



Diagramas das cloacas de um tubarão, uma salamandra e de uma tartaruga.

Os mamíferos monotremados e térios diferem com relação à cloaca e seus derivados. Nos primeiros a cloaca embrionária é parcialmente dividida por um septo, resultando em um coprodeu dorsal, que recebe o intestino, um urodeu ventral, por onde chegam os ureteres e os ductos paramesonéfricos, e um proctodeu caudal comum, que se abre para o meio externo como uma abertura cloacal. Nos últimos o septo embrionário continua se desenvolvendo até a completa separação do reto e das estruturas urogenitais. A urina e o esperma dos machos térios são liberados por um canal comum, a uretra. Fêmeas da maioria dos mamíferos possuem os ductos urinários e genitais se abrindo em um seio urogenital comum. Porém primatas e alguns roedores eliminam o seio urogenital comum por meio da eversão fetal da passagem comum, resultando na separação da abertura cranial, a uretra, da abertura vaginal.

Modificado de: Walker & Liem, 1994



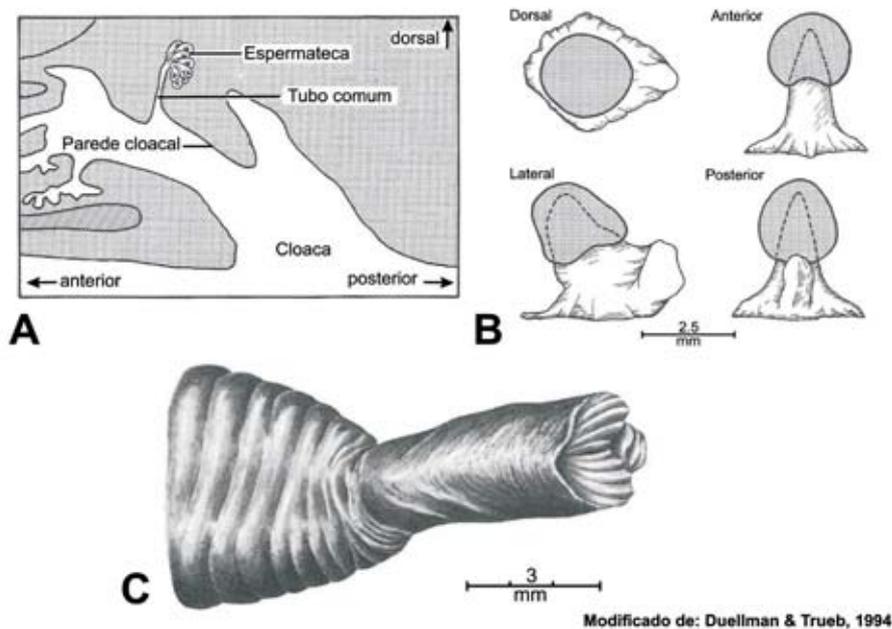
Diagramas das cloacas de mamíferos monotremados (A) e eutérios (B).

ÓRGÃOS DE CÓPULA

Um grande número de vertebrados possui fecundação externa, não havendo portanto órgãos de cópula. Entre eles temos várias espécies de

Cordados I

agnatos, peixes ósseos e anfíbios, que liberam seus gametas diretamente na água, alguns possuindo inclusive elaborados comportamentos para garantir a fecundação de seus ovos. Porém a ausência de um órgão de cópula não é sinônimo de fecundação externa. Vários anuros, a grande maioria das aves e as duas espécies de tuatara não possuem órgão de cópula, mas mesmo assim a fecundação ocorre internamente nas fêmeas. Os machos destas espécies transferem o esperma para suas parceiras por meio da junção de suas cloacas. A maioria das salamandras também faz fecundação interna e não possui órgão de cópula, porém neste grupo os machos colocam sacos de esperma, os espermatóforos, no ambiente. As fêmeas passam sobre os espermatóforos recolhendo-os com sua cloaca. O esperma pode ficar armazenado na espermateca e viável até mais de um ano. Outro fato interessante é que o formato do espermatóforo é diferente entre as espécies e corresponde a um encaixe perfeito da cloaca de sua parceira. Este compõe inclusive um dos mecanismos de isolamento reprodutivo que reduz as possibilidades de transferência de gametas de uma espécie para outra. Já os machos das cobras-cegas possuem uma extensão eversível da cloaca, o “phalloseum”, que utilizado para a cópula.

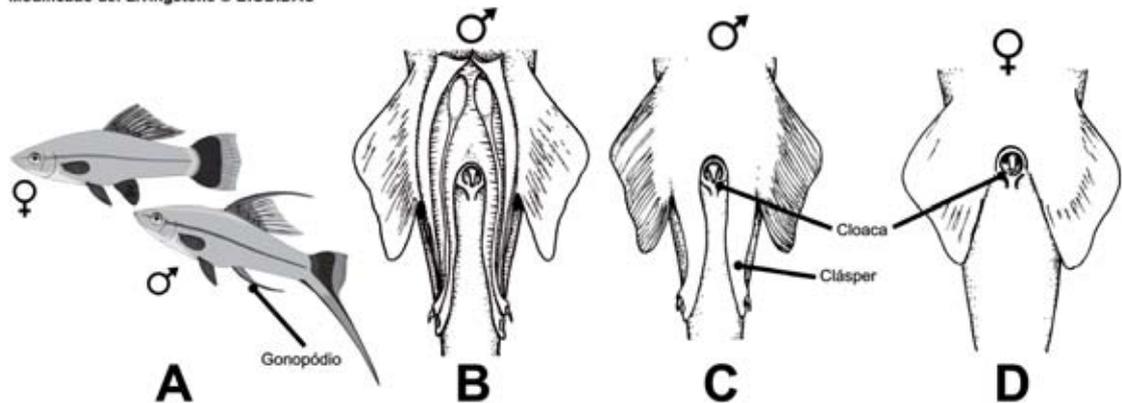


Cloaca e espermateca de uma fêmea (A) e espermatóforos dos machos (B) de salamandras e phalloseum (órgão de cópula) de uma cobra-cega (C).

Algumas espécies de peixes ósseos mantêm em seu interior os ovos em desenvolvimento ou dão a luz filhotes. Nestes a fecundação é interna, e a transferência dos gametas se dá através da nadadeira anal que apresenta raios com crescimento diferenciado formando o gonopódio rígido e móvel. A

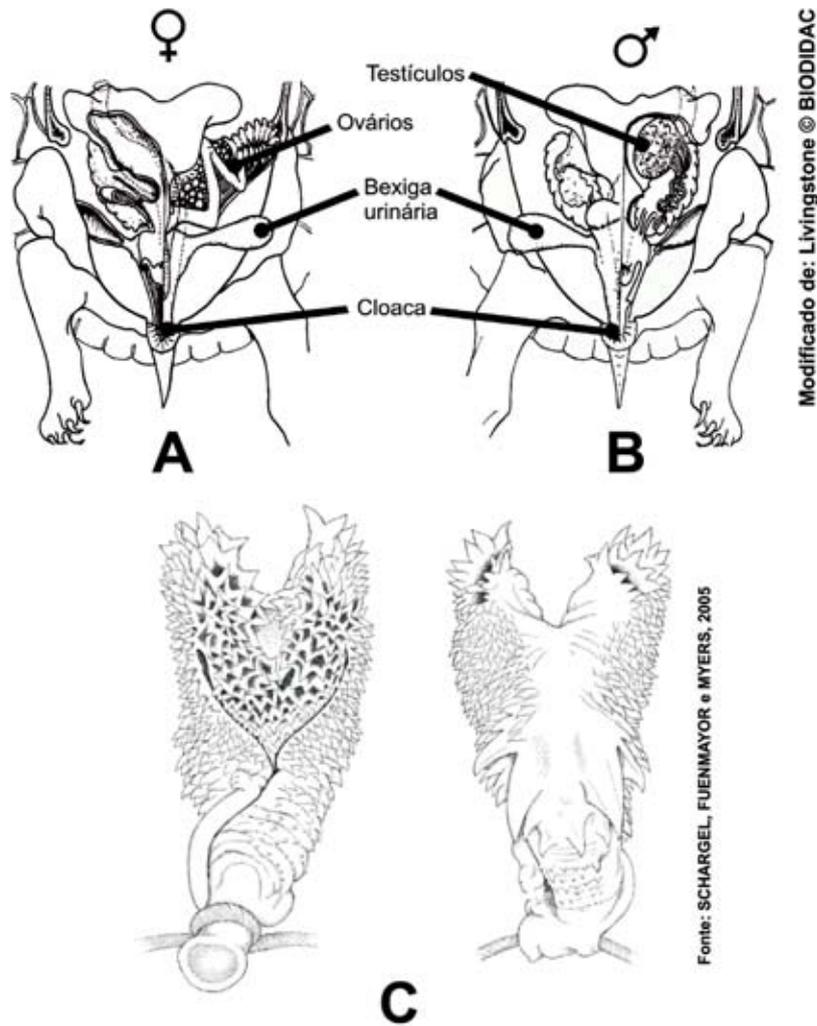
fecundação em elasmobrânquios também é interna, através de modificações das nadadeiras pélvicas conhecidas como cláspes.

Modificado de: Livingstone © BIODIDAC



Gonopódio de um peixe ósseo (A), vista interna (B) e externa (C) dos cláspes do macho de tubarão e nadadeira pélvica da fêmea (D) sem a modificação observada anteriormente.

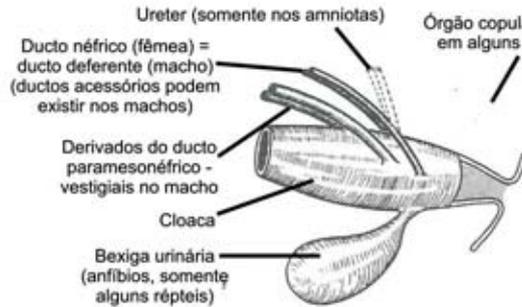
Em geral a fecundação interna é essencial se a cópula ocorrer fora da água, se houver desenvolvimento interno dos filhotes ou se os ovos são envolvidos por casca antes de sua postura. Dois tipos de órgãos de cópula podem ocorrer nos répteis, o pênis e o hemipênis. Crocodilianos e quelônios possuem um pênis, órgão sulcado, interno ao assoalho da cloaca. Em quase toda a extensão deste órgão estão presentes dois longos corpos esponjosos e vasculares, os corpos cavernosos, e na extremidade há uma glânde peniana. Um clitóris é observado nas fêmeas de tartarugas. Já os Squamata (lagartos, serpentes e cobras-de-duas cabeças) têm um hemipênis, estrutura par que fica alojada no interior de canais que se abre para o exterior, um de cada lado da abertura cloacal. Apenas um dos hemipênis é evertido em cada cópula.



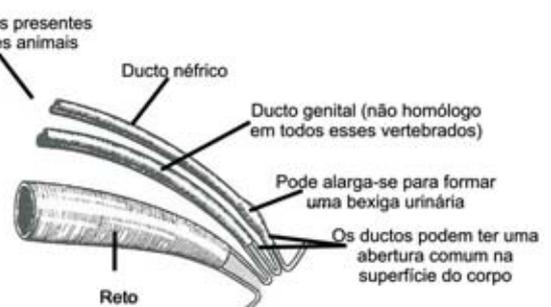
Sistema reprodutor de uma fêmea (A) e de um macho (B) de tartaruga e um hemipênis de uma serpente (C).

Os mamíferos monotremados possuem um pênis semelhante ao dos répteis, só que com um canal espermático separado da cloaca. Os térios possuem um pênis com corpos cavernosos e glândula. Este órgão pode ficar escondido sob a pele, mas normalmente é externo. A glândula dos mamíferos apresenta forma variada, sendo bifurcada nos marsupiais, correspondendo à vagina dividida da fêmea.

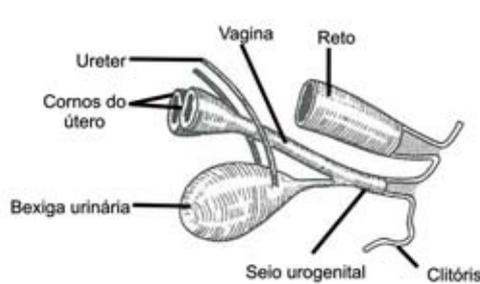
Modificado de: Hildebrand & Goslow JR, 2006



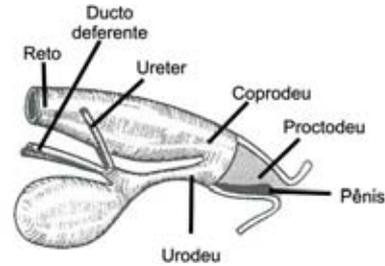
FEITICEIRAS, ELASMOBRÂNQUIOS, DIPNÓICOS, ANFÍBIOS RÉPTEIS E AVES



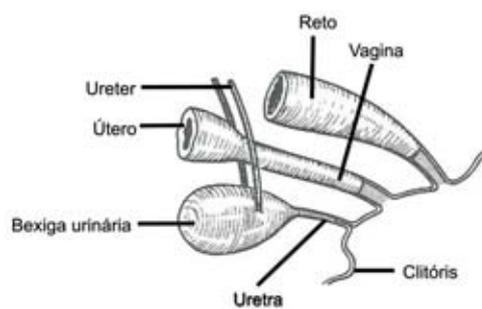
LAMPRÉIAS, QUIMERAS, MAIORIA DOS PEIXES ÓSSEOS



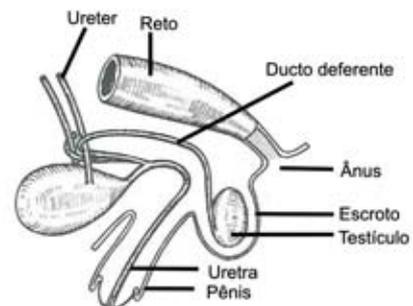
FÊMEAS DA MAIORIA DOS MAMÍFEROS



MACHOS DOS MONOTREMADOS



FÊMEAS DE PRIMATAS E DE ALGUNS ROEDORES



MACHOS DA MAIORIA DOS MAMÍFEROS

Divisões representativas da cloaca e suas relações com os ductos utogenitais e a bexiga urinária.

CONCLUSÃO

Acredito que tenha percebido a forte influência do meio em que os organismos vivem sobre as formas de manutenção do equilíbrio interno e reprodução e as estruturas relacionadas com estas funções. No meio aquático, por exemplo, o caminho tomado pelo organismo para a manutenção do equilíbrio interno é dependente das concentrações da água que o cerca e interna ao animal (e.g. em ambiente hipertônico, o caminho seguido será justamente aquele que evite a perda excessiva de água para o meio e ao mesmo tempo reduza o ganho de sais para o organismo). Já os organismos terrestres estão sujeitos à desidratação através de seus epitélios respiratórios e pela pele. Em razão disso, desenvolveram mecanismos fisiológicos e comportamentais para economizar água (e.g. hábitos noturnos em pequenos roedores do deserto, produção de ácido úrico de baixa toxicidade, que exige pouca água para ser excretado, por répteis e aves, etc). Com relação à reprodução e às estruturas envolvidas neste processo, podemos verificar a ausência de órgãos de cópula na maioria dos organismos aquáticos. Órgãos de cópula são mais comuns em organismos terrestres que fazem fecundação interna. Porém ter fecundação interna não é sinônimo de presença de órgãos de cópula como já comentado para as aves, alguns anfíbios e para o tuatara, que a conseguem por meio da junção de suas cloacas.



RESUMO

O sistema urogenital na realidade é composto por dois sistemas (excretor e reprodutor), que são responsáveis por manter o equilíbrio interno do organismo e promover a reprodução. A associação destes dois sistemas é anatômica e se dá ao nível dos ductos que drenam a urina e os gametas. A parte excretora do sistema urogenital se encarrega da remoção de excretas nitrogenados e de outras substâncias danosas, além de eliminar quantidades controladas de água e sais. Já a parte genital produz as células sexuais, propicia o encontro dos gametas, nutre o embrião e se encarrega de liberar os gametas, ovos, ou filhotes para o meio externo. O principal órgão responsável pela excreção dos vertebrados é o rim. A unidade funcional de um rim é conhecida por néfron, que é constituído de um túbulo associado a um corpúsculo renal. Em todos os embriões de vertebrados os rins são compostos de três porções (pro, meso e meta –néfro). Dependendo da(s) porção(ões) do tecido nefrogênico (mesômero) que o rim se forma, ele pode ser classificado em: holonefro (arquinefro), pronefro, mesonefro, metanefro e opistonefro. As estruturas responsáveis pela produção dos gametas são conhecidas por gônadas (testículos e ovários). Nos ovários estão presentes as várias oogônias, que após o seu amadurecimento formam os óvulos. Os ovários podem ser longos, compactos ou achatados, lisos ou granulosos,

sólidos ou frouxos. Já os testículos são responsáveis pela produção dos espermatozoides. São alongados em vertebrados delgados (agnatos, maioria dos peixes, cobras-cegas e salamandras), porém são compactos e ovoides em alguns condrícties, anuros (sapos, rãs e pererecas) e amniotas. Um grande número de vertebrados possui fecundação externa, não havendo órgãos de cópula. Porém vários anuros, a grande maioria das aves e as duas espécies de tuatara não possuem órgão de cópula, mas mesmo assim a fecundação é interna. Nestes casos a transferência dos gametas se dá por meio da junção das cloacas. Na maioria das salamandras a fecundação é interna com o uso de espermatóforos. Entre os órgãos de cópula podemos destacar o phalloseum das cobras cegas, os hemipênis de serpentes, lagartos e cobras-de-duas-cabeças e os pênis de crocodilianos, quelônios e mamíferos.

ATIVIDADES

O objetivo desta atividade é identificar as estruturas envolvidas na excreção e na reprodução de um peixe ósseo, uma rã, um pombo e um rato. Além disso, você deverá observar a existência ou não de relação entre os dois sistemas de órgãos em cada um dos já referidos animais. Para a realização desta prática serão necessários exemplares (fixados ou frescos) de cada um dos grupos.



SISTEMA EXCRETOR

PEIXE

- Após deslocar a bexiga de gás para o lado, observe junto à coluna vertebral uma estrutura longa e de coloração escura, os rins.
- Na parte caudal do rim, procure por dois tubos esbranquiçados, os ductos arquinéfricos (excretores). Estes ligam o rim à papila urogenital.
- Próximo à desembocadura do ducto excretor existe uma vesícula, a bexiga urinária, que em geral é de difícil observação. Uma maneira fácil de encontrá-la é introduzir um estilete no poro urinário. Como a membrana é transparente é possível visualizar o estilete e delimitar a bexiga, porém isso só é possível em peças frescas.

ANFÍBIO

- Bexiga urinária – duas expansões ventrais de paredes translúcidas unidas na região mediana.
- Rins – estruturas fixas à região próxima a coluna vertebral. Em peças frescas tem uma cor castanho-avermelhada.
- Glândulas adrenais (= supra-renais) – localizada na face ventral dos

rins como corpos achatados, alongados e de cor amarela (em peças frescas). Em animais fixados, sua visualização pode ser difícil.

AVE

- Rins – estão localizados logo abaixo do sistema digestório na região mais dorsal da cavidade do corpo, caudalmente aos pulmões. São duas estruturas lobuladas avermelhadas (em peças frescas) e alojadas em reentrâncias do sinsacro.
- Ureteres – ductos brancos que se originam nos rins e desembocam na cloaca.
- Glândulas adrenais – estruturas alongadas, esbranquiçadas, coladas à região dorso-medial dos rins. Difícil de ser visualizada em animais fixados.

MAMÍFERO

- Rins – duas estruturas em forma de feijão, sem lobulações, de cor castanho-avermelhada (em peças frescas) e geralmente estão envolvidos por tecido adiposo.
- Ureteres – são dois ductos translúcidos que se originam na região mediana dos rins, percorrem a região dorsal da cavidade abdominal penetrando lateralmente à bexiga urinária.
- Bexiga urinária – estrutura globosa de cor esbranquiçada, localizada na região ventral da pelve. Nos machos, fica entre os lobos da glândula próstata e nas fêmeas cranialmente à vagina.
- Glândulas adrenais – duas estruturas pequenas, de cor rosa-escura (em peças frescas), localizadas cranialmente aos rins (muitas vezes envolvidas por tecido adiposo).

SISTEMA REPRODUTOR

PEIXE

- Gônadas (testículos ou ovários) – estruturas alongadas, localizadas ventro-lateralmente à bexiga de gás. A distinção do sexo é melhor evidenciada em indivíduos reprodutivamente ativos: fêmeas apresentam gônadas alaranjadas onde é possível distinguir os ovos, e os machos as gônadas são esbranquiçadas.
- Gonoduto – ducto característico dos teleósteos que liga cada gônada (porção caudal) à papila urogenital.

ANFÍBIO

- Corpo adiposo
- Ovário (fêmeas) e testículos (machos)
- Funil do oviduto (fêmeas)
- Oviduto (fêmeas)

- Ductos arquinéfricos (machos)

AVE

- Ovário esquerdo (fêmeas) – obs. O ovário direito é atrofiado.
- Funil da trompa (fêmeas)
- Oviduto esquerdo (fêmeas)
- Oviduto direito rudimentar (fêmeas)
- Testículos (machos)
- Par de ductos deferentes (machos)

MAMÍFERO

- Ovários – pequenas massas arredondadas, avermelhadas (em peças frescas), localizadas próximo à extremidade cranial dos cornos do útero (fêmeas).
 - Ovidutos – ductos finos e enovelados próximos aos ovários (fêmeas)
 - Cornos esquerdo e direito do útero (fêmeas)
 - Vagina (fêmeas)
 - Abertura da vagina (fêmeas)
 - Testículos no interior das bolsas escrotais (machos)
 - Epidídimo (machos)
 - Ductos deferentes (machos)
 - Vesículas seminais (machos)
 - Próstata (machos)
 - Uretra (machos)
 - Pênis (machos)

Após ter localizado todas as estruturas elabore um quadro comparativo entre os quatro animais, contendo os diferentes ductos (machos e fêmeas) e se estão associados ao rim e/ou à gônada.

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula trataremos do sistema de controle de todos os outros sistemas vistos até agora, o sistema neural.



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.