

MORFOFISIOLOGIA DO APARELHO REPRODUTOR MASCULINO DE GATOS DOMÉSTICOS

(Morphophysiology of the male reproductive system of domestic cats)

Keytyanne de Oliveira SAMPAIO¹; Alexandre Tavares Camelo OLIVEIRA²; Grazielle Anahy de Sousa ALEIXO¹; Ellen Cordeiro Bento da SILVA^{1*}

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife/PE. CEP: 52.171-900; ²Universidade Estadual do Ceará (UECE)
*E-mail: silva.ecb@gmail.com

RESUMO

Os gatos são considerados, cada vez mais, a primeira escolha entre os animais domésticos e se destacam como pacientes na clínica médica veterinária, em virtude de distúrbios no trato urogenital. Assim, o estudo da anatomia e fisiologia reprodutiva desses indivíduos é a base para a compreensão e intervenção sobre patologias reprodutivas e urinárias, bem como para a investigação de técnicas de reprodução. O sistema reprodutor de gatos domésticos, apesar de formado também pelos testículos, epidídimos, ductos deferentes, glândulas sexuais acessórias, uretra, pênis, sacos escrotales e prepúcio, possui diversas peculiaridades que merecem destaque. Suas funções são controladas pelos sistemas nervoso e endócrino, em uma complexa interação. Com base no exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma revisão de literatura sobre o sistema reprodutor do gato doméstico, destacando as suas particularidades, a fim de orientar os médicos veterinários quanto às principais características anatomo-fisiológicas da espécie, o que permeia a base para a sua adequada intervenção clínica, cirúrgica ou mesmo biotecnológica.

Palavras-chave: Anatomia, biotecnologias reprodutivas, fisiologia, patologias, trato urogenital.

ABSTRACT

Cats are increasingly considered the first choice among domestic animals and stand out as patients in the veterinary medical clinic, due to disorders in the urogenital tract. Thus, the study of the reproductive anatomy and physiology of these individuals is the basis for understanding and intervening on reproductive and urinary pathologies, as well as for the investigation of reproduction techniques. The reproductive system of domestic cats, although also formed by the testes, epididymis, vas deferens, accessory sexual glands, urethra, penis, scrotum and prepuce, has several peculiarities that deserve to be highlighted. Its functions are controlled by the nervous and endocrine systems, in a complex interaction. Based on the above, this work aimed to develop a literature review on the reproductive system of the domestic cat, highlighting its particularities, to guide veterinarians regarding the main anatomical and physiological characteristics of the species, which permeates the basis for its adequate clinical, surgical or even biotechnological intervention.

Keywords: *Anatomy, reproductive biotechnologies, physiology, pathologies, urogenital tract.*

INTRODUÇÃO

O gato doméstico tem sido considerado o animal de estimação encontrado em maior número das residências de países desenvolvidos e nas maiores capitais do mundo, tendo superado a população de cães (GENTRY *et al.*, 2004; DRISCOLL *et al.*, 2007; FARACO e SOARES, 2013). Tal fato demonstra o notório aumento na relação afetiva dos humanos com a espécie (SÁNCHEZ e TSUTSUI, 2002; LUVONI *et al.*, 2003).

Como consequência do acima exposto, é crescente a demanda por biotecnologias reprodutivas, quando se trata de uma criação com finalidades comerciais (FERRÉ-DOLCET e ROMAGNOLI, 2023), as quais devem ser praticadas por profissional capacitado e familiarizado com a espécie, capaz de estabelecer e executar um protocolo mais adequado de

coleta de sêmen, avaliar o potencial reprodutivo dos animais e as possíveis causas de infertilidades, bases importantes para a preservação e aproveitamento de seu material genético (MACKIE *et al.*, 2020; FREITAS e MACHADO, 2021; KHONMEE *et al.*, 2023). Por outro lado, pela alta prolificidade, o excesso populacional dos gatos tem se tornado um problema mundial, demandando maiores e mais aprofundados conhecimentos morfofisiológicos da espécie em questão, que podem também serem empregados como base para o desenvolvimento de técnicas castrativas práticas, baratas, eficazes e seguras (GRISOLIA *et al.*, 2019).

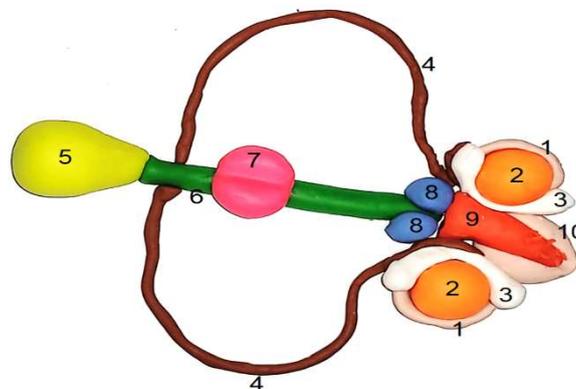
Os gatos domésticos também representam um importante modelo experimental no desenvolvimento de biotécnicas reprodutivas para os felídeos silvestres, por suas similaridades (BRITO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; MARTINS *et al.*, 2022; SILVA, 2022; BASHAWAT *et al.*, 2023; CEREGATTI e FEITOSA, 2023). Nesse sentido, o conhecimento do sistema reprodutor desses animais e do seu funcionamento, é de muito importante. Esse conhecimento pode dar suporte a uma adequada intervenção na clínica médica desses felinos, uma vez que tem se tornado cada vez mais frequente doenças como as obstruções uretrais (PIMENTA *et al.*, 2014; GONÇALVES *et al.*, 2021; BEESTON *et al.*, 2022; GOMES *et al.*, 2022; KIM *et al.*, 2022), as quais são de alta incidência, complexidade e importância (SAMPAIO *et al.*, 2020).

Com base no exposto, conhecer a anatomia e a fisiologia do aparelho reprodutor de determinada espécie animal é considerada a base para o seu estudo mais amplo e profundo. Portanto, esse trabalho teve por objetivo desenvolver uma revisão de literatura sobre o sistema reprodutor do gato doméstico, destacando as suas particularidades, a fim de orientar os médicos veterinários quanto às principais características morfofisiológicas da espécie.

DESENVOLVIMENTO

Estruturas e origem

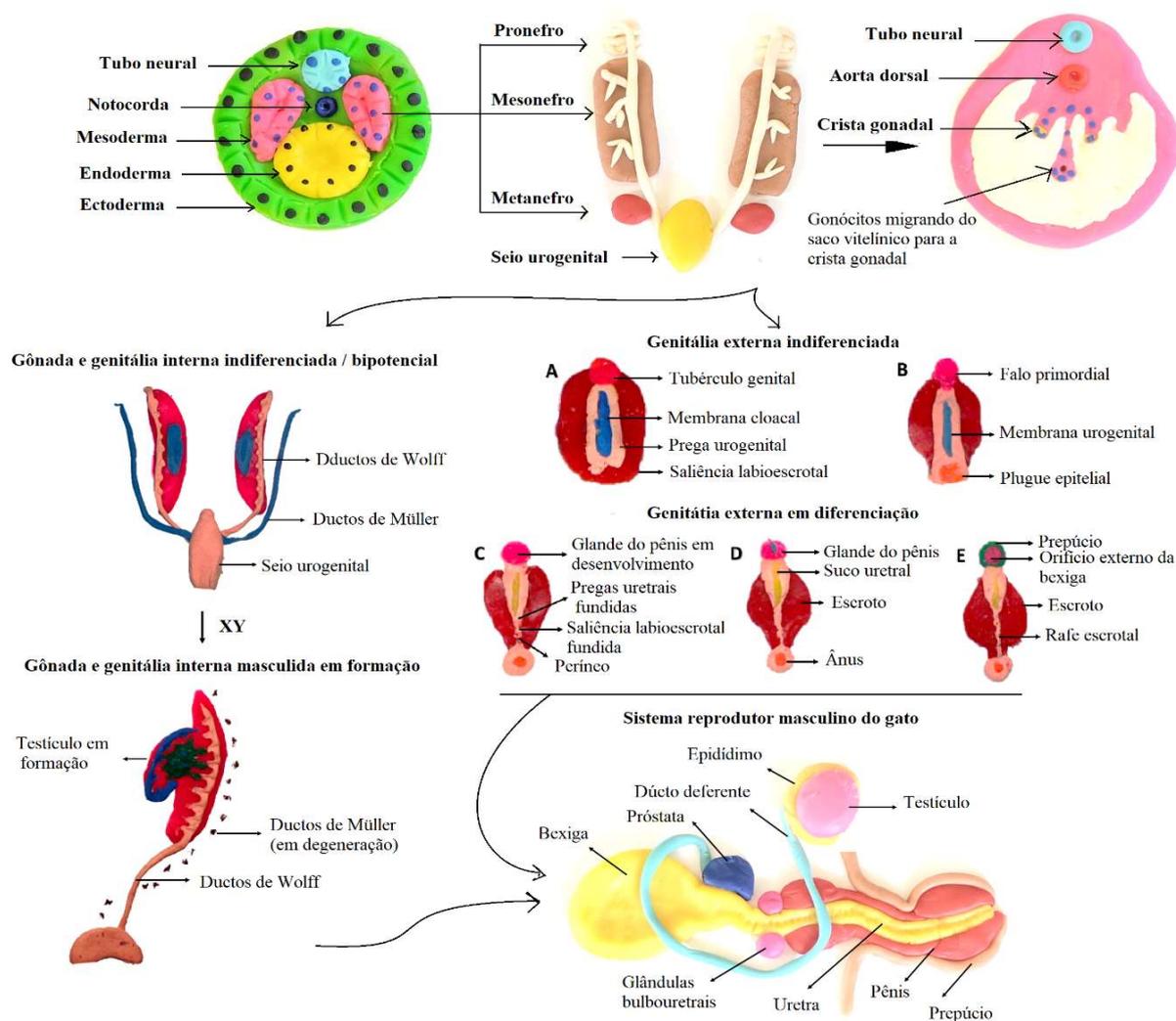
O sistema reprodutor masculino do gato doméstico (Fig. 01) é formado pelos seguintes seguimentos: (1) bolsa escrotal; (2) testículos; (3) epidídimos (cabeça, corpo e cauda); (4) ductos deferentes, que desembocam próximos à (5) bexiga urinária; (6) uretra pélvica, envolta por músculo uretral; glândulas sexuais acessórias, representadas pela (7) próstata e (8) glândulas bulbouretrais; (9) pênis, com uretra peniana interna e espículas córneas na superfície da glânde; e (10) prepúcio (DAVIDSON e BAKER, 2009). As vesículas seminais não estão presentes nos gatos, o que ocorre para todos os carnívoros (CEREGATTI e FEITOSA, 2023).



(Fonte: Adaptado de JOHNSON, 2022a)

Figura 01: Sistema reprodutor masculino do gato doméstico representado em modelagem.

As gônadas se originam nas eminências genitais, também denominadas de cristas gonadais, formadas no mesonefron embrionário durante o período embrionário (Fig. 02) (SWENSON e REECE, 2007). No gato, os testículos são mais arredondados (JOHNSON, 2022a) e a posição intra-abdominal é vista antes do nascimento, uma vez que, durante o período fetal e neonatal, esses migram para a bolsa escrotal, através dos canais inguinais, por meio do estímulo hormonal da testosterona. Tal movimentação permanece até o animal atingir a puberdade, quando os anéis inguinais, que comunicam o escroto e a cavidade abdominal, se fecham impedindo essa movimentação (JOHNSTON *et al.*, 2001; SWENSON e REECE, 2007). No escroto os testículos devem permanecer e serem livremente móveis, ligeiramente firmes à palpação e de tamanhos similares (JOHNSON, 2022b).



(Fonte: Adaptado de MACLAUGHLIN *et al.*, 2001; YIEE e BASKIN, 2010; KÖNIG e LIEBICH, 2016; MÄKELÄ *et al.*, 2019)

Figura 02: Modelagem ilustrativa do desenvolvimento sequencial do sistema reprodutor masculino de gatos.

Os testículos são envoltos por túnica albugínea (JOHNSON, 2022a) e formados pelos túbulos seminíferos, que ocupam cerca de 90% do parênquima testicular, e pelo tecido intersticial (AXNÉR, 2006). A túnica albugínea é uma camada formada por tecido conjuntivo

denso (DIAGONE *et al.*, 2011; KUMAR *et al.*, 2023), rico em fibras colágenas. Por sua vez, os túbulos seminíferos apresentam em seu interior um epitélio estratificado que tem sua altura aumentada com a idade do animal e é constituído pelas células de suporte, denominadas células de Sertoli e pelas células espermatogênicas, que são as espermatogônias, os espermatócitos, as espermatídes e os espermatozoides. Ao redor deles é encontrado o tecido intersticial, que nos gatos é rico em células de Leydig (DIAGONE *et al.*, 2011).

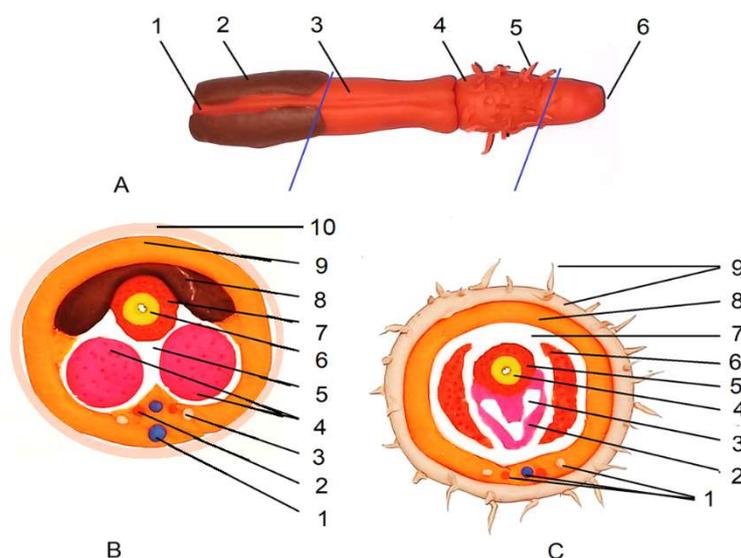
Os testículos dos gatos são irrigados por uma única artéria testicular, ligeiramente enovelada no cordão espermático e que no hilo testicular se ramifica para ambos os lados das gônadas e originam arteríolas. A artéria testicular é circundada pelas veias do plexo pampiniforme, que drenam o sangue levado ao órgão masculino (ALEXANDRE-PIRES *et al.*, 2012), organização essa que favorece a termorregulação e controle da pressão sanguínea testicular (SWENSON e REECE, 2007).

Os sacos ou bolsas escrotais, comumente revestidos por pelos, se localizam externamente à cavidade abdominal, na região perineal (DYCE *et al.*, 2019). Neles são encontrados os testículos, os epidídimos e a parte proximal dos ductos deferentes (CEREGATTI e FEITOSA, 2023). Sua posição permite que as gônadas sejam mantidas em uma temperatura mais baixa que a corporal (DYCE *et al.*, 2019), isoladas entre si por um septo mediano de tecido conjuntivo fibroso que divide o escroto em duas áreas, uma para cada testículo (JOHNSON, 2022a).

Os epidídimos são ductos longos únicos e enovelados, divididos nas porções de cabeça, corpo e cauda, ao longo das quais ocorre a maturação e armazenamento dos espermatozoides (SWENSON e REECE, 2007). Nos gatos, a cabeça do epidídimo fica localizada dorso cranialmente, o corpo na porção dorso lateral e a cauda na região dorso caudal (JOHNSTON *et al.*, 2001).

Nos felinos domésticos as glândulas sexuais acessórias são a próstata e as bulbouretrais (DYCE *et al.*, 2019; PALMIERI *et al.*, 2022). As primeiras são uma estrutura grande, compacta, composta de unidades tubuloalveolares ao redor da uretra pélvica, dorso-lateralmente e abaixo da bexiga (ABOOD *et al.*, 2019; DYCE *et al.*, 2019). Por sua vez, as últimas estão localizadas na altura da uretra, próximo ao arco isquiático, em número de duas (DYCE *et al.*, 2019), de pequenas dimensões e compostas por unidades secretoras tubuloalveolares (ABOOD *et al.*, 2019). Assim, o fluido prostático constitui a maior porção do plasma seminal dos gatos (JOHNSON, 2022a).

O pênis é o órgão copulador masculino, com a função de depositar o sêmen no trato reprodutor da fêmea (ACKERMANN e LOPES, 2020) e tem sua estrutura dividida em raiz peniana (Fig. 03-1A), corpo peniano (Fig. 03-3A) e glândula (Fig. 03-4A) (SMITH, 2010). Ele é revestido pelo prepúcio, o qual corresponde a uma prega cutânea espessa, curta, frequentemente coberta de pelos e com um óstio caudal, por onde a glândula é exposta (DYCE *et al.*, 2019). Ademais, o pênis é constituído por dois corpos de tecidos eréteis cavernosos (Fig. 03-4B), bem como de um corpo esponjoso (Fig. 03-7B, 5C, 6C), e é envolto por tecido conjuntivo fibroso, a túnica albugínea (Fig. 03-5B, 7C) e pele, além de possuir em sua organização fâscias e tecidos adjacentes (Fig. 03-9B, 2C, 8C) (DYCE *et al.*, 2019). Ventralmente à estrutura peniana passa a uretra (Fig. 03-6A, 6B, 4C) recoberta pelo corpo esponjoso e, na porção anterior, pelo músculo bulbo-esponjoso (Fig. 03-8B), enquanto dorsalmente estão presentes grandes vasos sanguíneos e nervos (Fig. 03-1B, 2B, 3B, 1C) (SWENSON e REECE, 2007; JOHNSON, 2022a).



(Fonte: Adaptado de DYCE *et al.*, 2019)

Figura 03: Representação morfológica do órgão copulador masculino de gato doméstico através de modelagem.

Obs.: Modelagem em vião (A) dorso lateral; (B) corte transversal em porção anterior do pênis; (C) corte transversal da glândula do pênis.

Nos felinos o pênis apresenta uma porção livre medindo aproximadamente 5 a 10mm de comprimento e 4 a 5mm de diâmetro na base (JOHNSON, 2022a). Ela é do tipo músculo cavernoso, podendo apresentar um osso peniano vestigial (3 a 5mm) (Fig. 03-3C), e se localiza na região perineal, dirigido caudal e ventralmente aos testículos (RESTREPO *et al.*, 2020; JOHNSON, 2022a). O pênis dos felinos domésticos apresenta papilas queratinizadas (Fig. 03-5A, 9C) em cerca de dois terços de sua superfície, variando de 0,75 a 1mm de comprimento e direcionadas à base peniana (JOHNSON *et al.*, 1994). Elas são constituídas de tecido conjuntivo recoberto por epitélio cornificado, desenvolvem-se durante os primeiros meses de vida do animal, hipertrofiam por ação do andrógeno e regridem em animais castrados como consequência de sua dependência androgênica (JOHNSTON *et al.*, 2001; JOHNSON, 2022a).

A uretra é um órgão comum, no macho, aos sistemas reprodutor e urinário, representando a via por onde são conduzidos a urina e o sêmen (SWENSON e REECE, 2007). Ela é composta por um epitélio circundado por fibras elásticas e colágeno e pode ser dividida em três porções as quais são a uretra prostática, membranosa e peniana. Seu diâmetro é progressivamente estreitado, começando com cerca de 2,4mm na prostática e terminando com 0,7mm na peniana, o que predispõe a quadros obstrutivos na porção mais distal (BORGES *et al.*, 2017).

A uretra prostática é a porção mais próxima à bexiga urinária sendo composta por epitélio de transição, semelhante ao que reveste o órgão supracitado. Esse é um epitélio estratificado, cuja camada mais superficial é formada por células globosas, que vão diminuindo de tamanho quanto mais próximas à membrana basal. Vale ressaltar que representa um epitélio especializado na distensão e na resistência à toxicidade da urina (CAO *et al.*, 2015).

As porções membranosa e peniana são constituídas por epitélios semelhantes, sendo a primeira curta e localizada na altura das glândulas bulbouretrais, enquanto a segunda é mais

longa e corresponde à fração mais externa. São formadas por epitélio estratificado pavimentoso e tecido conjuntivo frouxo. Além de duas camadas de músculo liso, as duas apresentam luz irregular e estreita, com a presença de várias pregas de mucosa (PICULO *et al.*, 2014).

Fisiologia e funções

As funções do sistema reprodutor masculino são a de produzir os espermatozoides visando a fertilização dos oócitos; secretar fluidos seminais para auxiliar na sobrevivência e transporte desses gametas no trato reprodutivo feminino e secretar hormônios essenciais para estabelecer os caracteres sexuais secundários, o comportamento reprodutivo e a espermatogênese (KUMAR *et al.*, 2023). Os sistemas nervoso e endócrino são os centros controladores das funções reprodutivas, com destaque para o eixo hipotalâmico-hipofisário-testicular (SWENSON e REECE, 2007). Neste sentido, é válido ressaltar que a fisiologia reprodutiva inicia a partir da ação dos andrógenos sob o sistema nervoso central, ainda no período perinatal (LITTLE, 2016).

Segundo Tsutsui *et al.* (2004), o peso e o tamanho testicular acompanham o ganho de peso corpóreo dos quatro meses aos dois anos de idade do animal. Neste sentido, seu volume é significativamente maior com o avançar da idade do indivíduo (KUMAR *et al.*, 2023). Os testículos são glândulas mistas, responsáveis pela produção dos espermatozoides e secreção dos hormônios sexuais, principalmente a testosterona (SWENSON e REECE, 2007). A espermatogênese ocorre nos túbulos seminíferos, enquanto a esteroidogênese é realizada, principalmente pelas células intersticiais ou de Leydig (CARREAU e HESS, 2010). Há ainda nesses órgãos a produção de hormônios peptídicos e proteínas de ligação ao andrógeno, indispensáveis ao desempenho reprodutivo (SWENSON e REECE, 2007).

No decorrer do trânsito pelo epidídimo, a composição do fluido seminal sofre mudanças, como é o caso dos tipos de proteínas existentes, a proporção iônica e as reservas energéticas presentes. Todo esse processo oferece um microambiente especializado, que atua como fator essencial para que a maturação espermática aconteça (AXNÉR, 2006; OLIVA *et al.*, 2009; CEREGATTI e FEITOSA, 2023). Esse processo de maturação se inicia na cabeça e segue ao longo do corpo do epidídimo, sendo indispensável para a aquisição da capacidade fertilizante dos gametas masculinos (FRANÇA e GODINHO, 2003). Por sua vez, a cauda do epidídimo é o local de armazenamento dos gametas, previamente à ejaculação, mantendo a integridade estrutural e funcional dos mesmos (AXNÉR, 2006).

A termorregulação testicular é um processo de extrema relevância e orquestrado pela região pré-óptica do sistema nervoso central (SARFRAZ e UMAR, 2019), que acontece pela sinergia entre as seguintes estruturas: plexo pampiniforme, cordão espermático, escroto, túnica Dartus e músculo Cremaster. Esse controle permite uma temperatura testicular mais baixa do que a corpórea (DOMINGOS e SALOMÃO, 2011; NANAYAKKARA *et al.*, 2021), indispensável para a espermatogênese (CARREAU e HESS, 2010; CAI *et al.*, 2021; NANAYAKKARA *et al.*, 2021; CEREGATTI e FEITOSA, 2023). Temperaturas testiculares não ideais elevam a taxa metabólica desse órgão e, conseqüentemente, o consumo de oxigênio, com intensificação da produção de oxidantes, hipóxia e danos, refletidos através da menor qualidade seminal (SARFRAZ e UMAR, 2019).

No cordão espermático está contido o plexo pampiniforme, local de troca eficaz de calor através dos vasos sanguíneos, em fluxo contracorrente, com redução da temperatura do

sangue arterial testicular e aumento da temperatura do sangue venoso, com eficácia média de 91% (SARFRAZ e UMAR, 2019). Por sua vez, o escroto é uma bolsa de pele, fina e com pouca gordura e tecido conjuntivo (FOSTER, 2016), que mantém os testículos fora da cavidade abdominal (NANAYAKKARA *et al.*, 2021). De fora para dentro é encontrado em suas paredes pele, músculo da túnica Dartus, fáscia cremastérica, fáscia espermática interna e túnica vaginal parietal (NANAYAKKARA *et al.*, 2021). Ele surgiu como um elemento chave para a termorregulação testicular, fato decorrente de sua posição e composição, com destaque para a ampla vascularização e a capacidade sudorípara (SARFRAZ e UMAR, 2019).

A túnica Dartus consiste em tecido fibroelástico e músculo liso, auxiliar à termorregulação (FOSTER, 2016), visto que em resposta ao estresse pelo frio ocorre sua contração, com enrugamento do escroto e maior conservação de temperatura, e no estresse pelo calor o seu relaxamento, permitindo a dissipação térmica (NANAYAKKARA *et al.*, 2021). De forma complementar atua o músculo cremaster, estrutura formada por fibras musculares estriadas esqueléticas diferenciadas (SENGUL e ERTEKIN, 2020). Através dele há o reflexo cremastérico, reflexo superficial protetor e fisiológico (SENGUL e ERTEKIN, 2020), que em situações de estresse pelo frio faz com que os testículos se aproximem do corpo pela contração do músculo (GOMES *et al.*, 2015) e no estresse pelo calor se distancie pelo seu relaxamento (NANAYAKKARA *et al.*, 2021).

Após a maturação dos espermatozoides, durante a emissão/ejaculação, eles seguem pelos ductos deferentes, canais que entram na superfície crânio-dorsal dos lobos prostáticos, findando na uretra, na região denominada colículo seminal (JOHNSON, 2022a; PALMIERI *et al.*, 2022). Na uretra os gametas estabelecem contato com o plasma seminal, fluído produzido, predominantemente, pelas glândulas sexuais acessórias (CEREGATTI e FEITOSA, 2023), estruturas que apoiam o sistema reprodutor masculino de mamíferos (ABOOD *et al.*, 2019).

As glândulas sexuais acessórias são andrógeno-dependentes (DYCE *et al.*, 2019), fato que justifica sua atrofia após a castração (JOHNSON, 2022a). Em relação ao plasma seminal, esse confere nutrição, proteção e transporte aos gametas, bem como aumenta o volume do ejaculado (DAVIDSON e BAKER, 2009; DYCE *et al.*, 2019).

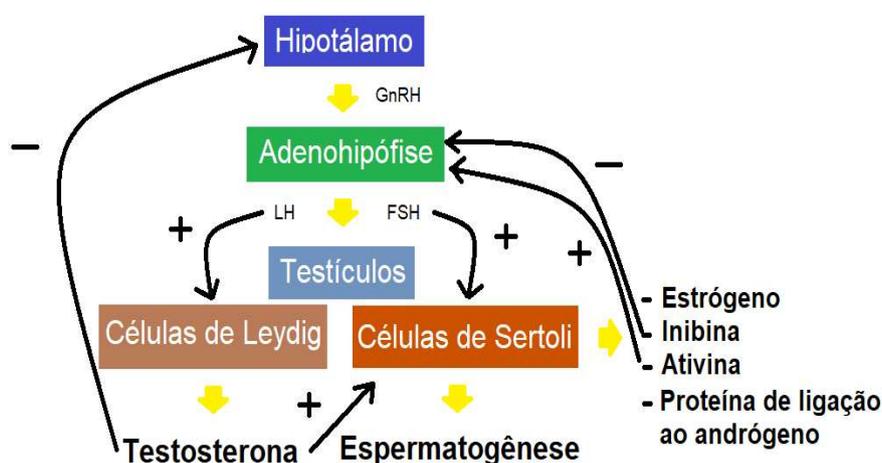
Antes da puberdade o pênis se apresenta ligado ao prepúcio (prega balanoprepucial), que impede sua completa extensão e penetração no trato reprodutivo da fêmea. A separação dessas duas estruturas, passa a ocorrer com o advento da puberdade, visto que a exposição aos maiores níveis circulantes de andrógeno levam ao rompimento desse tecido de adesão. Os gatos possuem um osso peniano, que se forma na região da glândula com o avanço da idade, estando, portanto, ausente em animais jovens (JOHNSON, 2022a). Acredita-se que nas espécies de ovulação induzida, incluindo-se os gatos domésticos, as espículas penianas tenham se desenvolvido para auxiliar na estimulação mecânica dos receptores de pressão no canal vaginal, desencadeando a ovulação na fêmea. Essa estrutura é necessária porque histologicamente a glândula peniana do gato possui tecido erétil muito pouco desenvolvido e, conseqüentemente, uma rigidez inadequada do órgão (SMITH, 2010; ORR e BRENNAN, 2016).

Durante a cópula, mais especificamente na fase de ereção, por meio de controle do sistema nervoso autônomo, ocorre vasodilatação arteriolar e expansão dos sinusóides penianos, aumentando a pressão sanguínea intracorpórea deste órgão. Além disso, têm-se a compressão dos plexos venosos periféricos, dificultando o retorno venoso, por auxílio do músculo isquiocavernoso (Fig. 02-2A) (DEAN e LUE, 2005). Esses processos hemodinâmicos,

associados ao osso peniano, mantêm a rigidez necessária para que haja a introdução do órgão no canal vaginal da fêmea (DEAN e LUE, 2005; SMITH, 2010).

Controle neuroendócrino da reprodução

Toda a atividade reprodutiva masculina, incluindo os processos da espermatogênese e maturação espermática, dependem da atividade do eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal (Fig. 04). Isso marca o controle neuroendócrino sobre o sistema reprodutor masculino, com a manutenção de níveis hormonais adequados e a expressão dos receptores hormonais em células-alvo, como as de Leydig e de Sertoli (POINTIS *et al.*, 2005; NANAYAKKARA *et al.*, 2021). Nesse sentido, o hipotálamo sintetiza e secreta o hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH) que, através do sistema porta-hipofisário, alcança a porção anterior da hipófise, onde estimula a liberação dos hormônios luteinizante (LH) e folículo estimulante (FSH), conjuntamente denominados gonadotrofinas, que são essenciais aos processos de esteroidogênese e espermatogênese, respectivamente (SWENSON e REECE, 2007; SHAH *et al.*, 2021).



(Fonte: Adaptada de SWENSON e REECE, 2007)

Figura 04: Eixo hipotalâmico-hipofisário-testicular.

Obs.: GnRH: Hormônio liberador de gonadotrofina; LH: Hormônio luteinizante; FSH: Hormônio folículo estimulante; (+): Feedback positivo; (-): Feedback negativo.

A elevação na secreção de GnRH se dá pela redução dos níveis circulantes de testosterona e conseqüentemente de inibina, com aumento subsequente de LH e FSH. Como resultado da atuação do LH circulante nas células de Leydig haverá o aumento da testosterona e, por ação conjunta desta última com o FSH, o desencadeamento da espermatogênese. Há ainda a produção de proteína de ligação ao andrógeno (testosterona e dihidrotestosterona) (ABP, *androgen binding protein*), estrógeno e inibina nas células de Sertoli, por intermédio de estímulos do FSH (SWENSON e REECE, 2007; DIAGONE *et al.*, 2011). Em felinos neonatos, da mesma forma que em outros mamíferos machos, concentrações fisiológicas de andrógenos são necessárias para o desenvolvimento testicular normal e futura espermatogênese (GRISOLIA *et al.*, 2019).

O parênquima testicular é formado pelos compartimentos tubular e intertubular ou intersticial (AXNÉR, 2006; FERREIRA *et al.*, 2014). As células de Leydig se localizam no espaço intersticial e nos felinos são abundantes, quando comparado a outras espécies. Elas se

puberdade. Isso porque com a elevação dos níveis circulantes de andrógeno cessa a fase proliferativa e se inicia a fase de maturação das células de Sertoli. Elas suportam um número específico de células germinativas, de forma que seu número determina a capacidade produtiva de espermatozoides pelos testículos, fato pelo qual se sobressai como principais reguladoras da espermatogênese (SHAH *et al.*, 2021). Assim, as células de Sertoli são as únicas células somáticas dos testículos alvo da ação de FSH e testosterona e que regulam (GAUTAM *et al.*, 2018) e suportam a espermatogênese (ABÉ *et al.*, 2008; PENG *et al.*, 2023).

O FSH atua em receptores de membrana nas células de Sertoli com estímulo à atividade secretória e aos receptores de andrógenos, bem como à conversão de testosterona em estrogênio e na dihidrotestosterona, que é a forma mais bioativa do andrógeno. Tais hormônios se deslocam para dentro da membrana basal e podem ser liberados para o sangue, por meio do que atuam na espermatogênese, assim como regulam a secreção de FSH e LH, quando em altas concentrações, por meio de retroalimentação negativa (SWENSON e REECE, 2007). A espermatogênese é, portanto, uma função testicular endócrino-dependente, visto que sua manutenção e suporte depende de hormônios e fatores de crescimento (SHAH *et al.*, 2021), que se inicia com a puberdade e marca o início da mesma (BASHAWAT *et al.*, 2023).

Os fatores e condições críticos à espermatogênese não são plenamente compreendidos (KULIBIN e MALOLINA, 2023). Alguns dos importantes fatores de crescimento, produzidos nas células de Sertoli, que regulam tal evento (PENG *et al.*, 2023) são o fator de células-tronco (SCF), o fator de crescimento epidérmico (EGF), neuregulina-1 (NRG-1) (ABÉ *et al.*, 2008; TANAKA *et al.*, 2016; PENG *et al.*, 2023), o fator neurotrófico derivado da linhagem das células gliais (GDNF) (TANAKA *et al.*, 2016; ZAKER *et al.*, 2022), o fator de crescimento de fibroblasto tipo 2 (FGF2) (TANAKA *et al.*, 2016) e tipo 5 (FGF5) (RUHUI *et al.*, 2019), o membro 5A da família WNT (WNT5A) (YEH *et al.*, 2011; TANAKA *et al.*, 2016), o fator estimulante de colônia 1 (CSF-1) (SAWAIED *et al.*, 2021), as proteínas 1 e 4 secretadas relacionadas com a frizzled (SFRP-1, SFRP-4) (TANAKA *et al.*, 2016), a proteína morfogenética óssea 4 (BMP4) (YANG *et al.*, 2016; DU *et al.*, 2021) e o fator 1 derivado de células estromais (SDF-1 ou CXCL12) (TANAKA *et al.*, 2016; GAUTAM *et al.*, 2018).

Fatores de crescimento que norteiam a espermatogênese também são sintetizados por outros tipos de células somáticas testiculares (PENG *et al.*, 2023). Dentre eles estão os fatores de crescimento semelhantes à insulina (IGFs) (GRIFFETH *et al.*, 2014; GAUTAM *et al.*, 2018), o EGF (YAN *et al.*, 1998), o SCF, o WNT5A, o fator de crescimento derivado de plaquetas (PDGFA), o CXCL12 (PENG *et al.*, 2023) e o CSF-1 (SAWAIED *et al.*, 2021; PENG *et al.*, 2023), cuja origem pode ser nas células de Leydig.

Apesar de conhecidos de forma limitada, os fatores de crescimento espermatogênicos desempenham papéis cruciais à reprodução. Um exemplo disso é a ação do SCF e do GDNF ao estimularem a renovação das espermatogônias tronco, bem como a promoção de sua diferenciação (ZAKER *et al.*, 2022; PENG *et al.*, 2023). Nesta mesma linha, FGF2, FGF5 e WNT5A atuam como fatores celular que suportam a auto-renovação das espermatogônias tronco (YEH *et al.*, 2011; TANAKA *et al.*, 2016; RUHUI *et al.*, 2019), o que também é feito pelo CXCR4 (GAUTAM *et al.*, 2018), com manutenção e sobrevivência das mesmas (YEH *et al.*, 2011). Enquanto isso, o BMP4 é descrito como promotor da proliferação de células de Sertoli (DU *et al.*, 2021) e indutor da diferenciação das espermatogônias (YANG *et al.*, 2016); e o SFRP-1 é ligado à regulação do processo de espermição (GAUTAM *et al.*, 2018).

No que concerne ao CSF-1 e IGFs, esses desempenham uma gama de ações mais amplas. O CSF-1 está envolvido, de forma autócrina e parácrina, com a indução da proliferação e diferenciação de espermatogônias para estágios meióticos e pós-meióticos, em virtude do que está possivelmente presente em diferentes estágios da espermatogênese e pode surgir como uma estratégia terapêutica no tratamento da infertilidade masculina (SAWAIED *et al.*, 2021). Por outro lado, a ação crítica exercida pelos IGFs sobre a reprodução se deve à regulação autócrina e parácrina do desenvolvimento e das funções testiculares, modulando a sobrevivência, proliferação, diferenciação e metabolismo celular (GRIFFETH *et al.*, 2014).

A puberdade pode ser definida como o período no qual o animal é capaz de demonstrar comportamentos sexuais (HORWITZ, 2019) e de produzir espermatozoides férteis (JOHNSON, 2022a). Ela é desencadeada com a maturação do eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal, que decorre da dessensibilização do hipotálamo ao andrógeno e, por conseguinte, resulta no aumento das concentrações circulantes de gonadotrofinas e esteroides gonadais (SWENSON e REECE, 2007). A partir desse processo de maturação, se inicia a sequência de eventos de divisões e diferenciações celulares, começando na porção basal da célula de Sertoli e progredindo em direção ao lúmen dos túbulos seminíferos, para a formação dos espermatozoides (BLOTTNER e JEWGENOW, 2007).

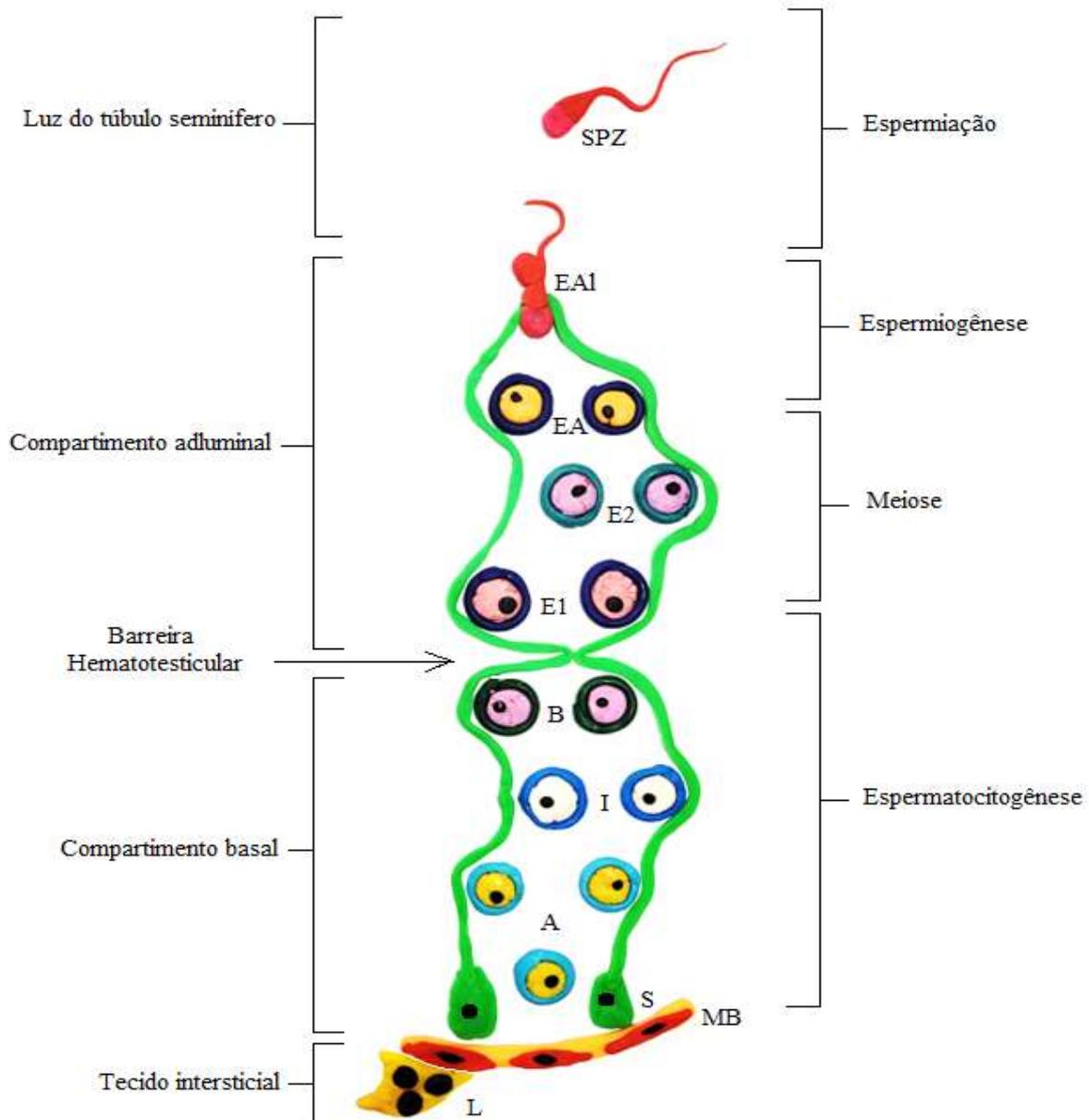
A espermatogênese

O processo espermatogênico pode ser dividido em três fases: espermatocitogênese, espermiogênese e espermição (ENGLAND e VON HEIMENDAHL, 2011), tendo esse ciclo duração de aproximadamente 60 dias no gato (JOHNSON, 2022a). Na espermatocitogênese, por meio de diferentes estádios de divisões mitóticas e meióticas, as espermatogônias, células germinativas imaturas, dão origem aos espermatócitos primários e estes aos secundários, dos quais resultam às espermátides arredondadas. Por sua vez, as últimas, na fase de espermiogênese, passam por progressivas modificações estruturais originando as espermátides alongadas (FRANÇA e GODINHO, 2003; BLOTTNER e JEWGENOW, 2007; SWENSON e REECE, 2007). Quando liberadas na luz dos túbulos seminíferos, esse processo é denominado de espermição e as células correspondentes passam a ser chamadas espermatozoides (ENGLAND e VON HEIMENDAHL, 2011).

Os espermatozoides são os gametas masculinos, células flageladas totalmente modificadas quanto ao tamanho, forma e composição de organelas (CHAUDHARY e HAMRA, 2015), que nos gatos têm seu comprimento total distribuído em 8,56% na cabeça, 13,45% na peça intermediária, 70,71% na peça principal e 7,29% na peça terminal (PINTUS *et al.*, 2021). Eles estão em grande quantidade na luz dos túbulos seminíferos de animais adultos, em comparação aos jovens (AMELKINA *et al.*, 2021), sendo a concentração espermática média estimada para a espécie de 10 a $1333,33 \times 10^6$ espermatozoides/mL, com volume de ejaculado entre 20 e 115 μ L, em coletas por via uretral (MADRIGAL-VALVERDE *et al.*, 2021).

É válido salientar que as espermatogônias se dispõem na lâmina basal dos túbulos seminíferos, com núcleo oval, correspondem às células tronco e são diploides (DIAGONE *et al.*, 2011). Por sua vez, os tipos celulares que dela se originam por processo de meiose passam a ocupar a lâmina adluminal, isolada da anterior pela barreira hematotesticular formada pelas células de Sertoli (SWENSON e REECE, 2007). Somado a isso, merece nota o fato dos eventos celulares pré-meióticos, meióticos e pós-meióticos, constituintes da espermatogênese (Fig. 06),

tornarem possível a diversificação genética, bem como a transmissão de genomas haploides na fertilização (CHAUDHARY e HAMRA, 2015).



(Fonte: Adaptada de SWENSON e REECE, 2007; DU *et al.*, 2021)

Figura 06: Organização do parênquima testicular e espermatogênese em modelagem.

Obs.: L: células de Leydig; MB: uma membrana basal (MB); S: células de Sertoli; A, I e B: espermatogônias em divisões mitóticas; E1: espermatócitos primários; E2: espermatócitos secundários; EA: espermátides arredondadas; EAl: espermátides alongadas; EPZ: espermatozoides.

Nos gatos jovens, os túbulos seminíferos possuem apenas espermatogônias e células de Sertoli (AMELKINA *et al.*, 2021), mas por volta das 20 semanas de idade aparecem as primeiras evidências histológicas da espermatogênese (JOHNSTON *et al.*, 2001), em virtude da dessensibilização do eixo hipotalâmico-hipofisário-testicular (SWENSON e REECE, 2007). Tal fato marca a puberdade, manifestada nesses animais por volta de sete a 12 meses de idade (JOHNSON, 2022b) ou quando atingem peso vivo apropriado de cerca de 2,5kg (JOHNSTON

et al., 2001). No entanto, a espermatogênese pode ser observada aos cinco meses de idade, embora os espermatozoides só estejam presentes no ejaculado entre oito e 12 meses de vida (JOHNSTON *et al.*, 2001). Além disso, a maturidade sexual desses indivíduos somente acontece entre o nono e o décimo segundo mês de vida (PINTUS *et al.*, 2021; FARACO e SOARES, 2013).

A espermatogênese é um evento gradual e progressivo, iniciado no final do período juvenil dos gatos (AMELKINA *et al.*, 2021). Nos animais adultos um ciclo completo no epitélio seminífero tem a duração de 10,4 dias, embora seja sabido que para a onda espermatogênica se complete sejam necessários, aproximadamente, 4,5 ciclos, o que tem uma duração média de 46,8 dias (FRANÇA e GODINHO, 2003). Em adição, nesses felinos a função do eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal e, por conseguinte, a espermatogênese, são influenciadas pelo fotoperíodo (SWENSON e REECE, 2007; ALEXANDRE-PIRES *et al.*, 2012; JOHNSON, 2022b), além de outros fatores como por exemplo a interação social (VALENTINI *et al.*, 2022).

Fora da estação reprodutiva os gatos apresentam diminuição geral na produção hormonal e na qualidade do sêmen (JOHNSON, 2022b), associado à redução de espermatogônias e aumento de apoptose celular nos túbulos seminíferos (VALENTINI *et al.*, 2022). Isso se deve ao fato de que a melatonina tem uma ação inibitória sobre o eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal dos mesmos, em virtude do que são classificados entre os reprodutores sazonais de dias longos, nos quais o desempenho reprodutivo é maior à medida que aumenta a exposição à luz solar (JOHNSON, 2022b).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do crescimento da população de felinos no ambiente doméstico e de sua exploração comercial, o conhecimento detalhado da anatomia e da fisiologia dos mesmos, especialmente no que diz respeito ao sistema reprodutor, é fator ainda limitante às corretas intervenções clínico-cirúrgicas, bem como ao desenvolvimento e implementação de biotécnicas reprodutivas na espécie. Neste contexto, trabalhos informativos e pesquisas na área são necessários, enriquecedores e determinantes para que o médico veterinário esteja preparado para lidar com estes animais e suas particularidades. Além disso, serve de base e possibilita investigações com espécies silvestres, propiciando a intensificação de sua conservação, por meio do favorecimento à reprodução.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES pela concessão de apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ABÉ, K.; ETO, K.; ABÉ, S. Epidermal growth factor mediates spermatogonial proliferation in newt testis. **Reproductive Biology and Endocrinology**, v.6, n.7, p.1-13, 2008.

ABOOD, D.Ab.; DAWOOD, M.S.; MOHAMMED, L.E. Histological Features of the Accessory Sex Gland of Indigenous Tom cat (*Felis catus*). **Al-Anbar Journal of Veterinary Sciences**, v.12, n.2, p.1-8, 2019.

ACKERMANN, C.L.; LOPES, M.D. Training tom cats for semen collection using an artificial vagina: a retrospective study. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.22, n.12, p.1155-1159, 2020.

ALEXANDRE-PIRES, G.; MATEUS, L.; MARTINS, C.; FERREIRA-DIAS, G. Seasonal Changes in Testes Vascularisation in the Domestic Cat (*Felis domesticus*): Evaluation of Microvasculature, Angiogenic Activity, and Endothelial Cell Expression. **Anatomy Research International**, v.2012, n.583798, p.1-10, 2012.

AMELKINA, O.; SILVA, A.M.; SILVA, A.R.; COMIZZOLI, P. Transcriptome dynamics in developing testes of domestic cats and impact of age on tissue resilience to cryopreservation. **BMC Genomics**, v.22, n.847, p.1-15, 2021.

AXNÉR, E. Sperm maturation in the domestic cat. **Theriogenology**, v.66, n.1, p.14-24, 2006.

BANKS, W.J. **Histologia Veterinária Aplicada**. 2. ed. São Paulo: Manole, 1992.

BASHAWAT, M.; BRAUN, B.C.; MÜLLER, K.; HERMANN, B.P. Molecular phenotyping of domestic cat (*Felis catus*) testicular cells across postnatal development – A model for wild felids. **Theriogenology Wild**, v.2, n.100031, p.1-11, 2023.

BEESTON, D.; HUMM, K.; CHURCH, D.; BRODBELT, D.; O'NEILL, D.G. Occurrence and clinical management of urethral obstruction in male cats under primary veterinary care in the United Kingdom in 2016. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v.36, n.2, p.599-608, 2022.

BLOTTNER, S.; JEWGENOW, K. Moderate seasonality in testis function of domestic cat. **Reproduction in Domestic Animal**, v.42, n.5, p.536-540, 2007.

BORGES, N.C.S.; SAMPAIO, M.A.P.; PEREIRA, V.A.; FIGUEIREDO, M.A.; CHAGAS, M.A. Effects of castration on penile extracellular matrix morphology in domestic cats. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.19, n.12, p.161-166, 2017.

BRITO, M.B.; MARONEZI, M.C.; USCATEGUI, R.A.R.; AVANTE, M.L.; SIMÕES, A.R.; MONTEIRO, F.O.B.; FELICIANO, M.A.R. Ultrasonographic methods for evaluation of testicles in cats. **Revista MVZ Córdoba**, v.23, n.3, p.6888-6899, 2018.

CAI, H.; QIN, D.; PENG, S. Responses and coping methods of different testicular cell types to heat stress: overview and perspectives. **Bioscience Reports**, v.41, n.6, p.1-12, 2021.

CAO, Y.; LUO, G.; LUO, L.; YANG, X.; HU, J.; SHI, H.; HUANG, P.; SUN, Z.; XIA, S. Re-epithelialization resulted from prostate basal cells in canine prostatic urethra may represent the ideal healing method after two-micron laser resection of the prostate. **Asian Journal of Andrology**, v.17, n.5, p.831-838, 2015.

CARREAU, S.; HESS, R.A. Oestrogens and spermatogenesis. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v.365, n.1546, p.1517-1535, 2010.

CEREGATTI, G.; FEITOSA, W.B. Male reproductive physiology of neotropical felids. **Theriogenology Wild**, v.1, p.1-11, 2023.

CHAUDHARY, J; HAMRA, F.K. Discovering in vitro spermatogenesis stimulating factors. **Cell Death and Disease**, v.6, n.e1937, p.1-2, 2015.

DAVIDSON, A.P.; BAKER, T.W. Reproductive ultrasound of the dog and tom. **Topics in Companion Animal Medicine**, v.24, n.2, p.64-70, 2009.

DEAN, R.C.; LUE, T.F. Physiology of penile erection and pathophysiology of erectile dysfunction. **Urologic Clinics of North America**, v.32, n.4, p.379-395, 2005.

DIAGONE, K.V.; FELICIANO, M.A.R.; PACHECO, M.R.; VICENTE, W.R.R. Histology and morphometry of the testes of adult domestic cats (*Felis catus*). **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.14, n.2, p.124-130, 2011.

DOMINGOS, T.C.S.; SALOMÃO, M.C. Meios de diagnóstico das principais afecções testiculares em cães: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.35, n.4, p.393-399, 2011.

DRISCOLL, C.A.; MENOTTI-RAYMOND, M.; ROCA, A.L. The near eastern origin of cat domestication. **Science**, v.317, n.5837, p.519-523, 2007.

DU, L., CHEN, W; CHENG, Z.; WU, S.; HE, J.; HAN, L.; HE, Z.; QIN, W. Novel gene regulation in normal and abnormal spermatogenesis. **Cells**, v.10, n.666, p.1-16, 2021.

DYCE, K.M.; SACK, W.O.; WENSING, C.J.G. **Tratado de Anatomia Veterinária**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

ENGLAND, G.C.W.; VON HEIMENDAHL A. **BSAVA Manual of canine and feline reproduction and neonatology**. 2. ed. Gloucester: British Small Animal Veterinary Association, 2011.

FARACO, C.B.; SOARES, G.M. **Fundamentos do comportamento Canino e Felino**. 1. ed. São Paulo: Editora Medvet, 2013.

FERRÉ-DOLCET, L.; ROMAGNOLI, S. Reversible control of reproduction in tom cats: medical options for manipulating libido and fertility. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.25, n.5, p.1-8, 2023.

FERREIRA, G.S.; CARVALHO, M.B.; AVANTE, M.L. Características epidemiológicas, clínicas e laboratoriais de gatos com sinais de doença do trato urinário inferior. **Archives of Veterinary Science**, v.19, n.4, p.42-50, 2014.

FOSTER, R.A. Male Genital Sistem. 6. ed. v.3, St. Loues: Elsevier, 2016.

FRANÇA, L.R.; GODINHO, C.L. Testis morphometry, seminiferous epithelium cycle lenght and daily sperm production in domestic cats (*Felis catus*). **Biology of Reproduction**, v.68, n.5, p.554-1561, 2003.

FREITAS, L.I.; MACHADO, R.S. Biotécnicas reprodutivas: captura, exame andrológico, conservação do ejaculado e inseminação artificial em canídeos e felídeos selvagens em risco de extinção. **Veterinária e Zootecnia**, v.28, p.1-9, 2021.

GAUTAM, M.; BHATTACHARYA, I.; RAI, U.; MAJUMDAR, S.S. Hormone induced differential transcriptome analysis of Sertoli cells during postnatal maturation of rat testes. **Plos One**, v.13, n.1, p.1-25, 2018.

GENTRY, A.S.; CLUTTON-BROCK, J.; GROVES, C.P. The naming of wild animal species and their domestic derivatives. **Journal of Archaeological Science**, v.31, n.5, p.645-651, 2004.

GOMES, D.O.; VIDAL, R.R.; FOEPEL, B.F.; FARIA, D.F.; SAITO, M. Cold weather is a predisposing factor for testicular torsion in a tropical country. A retrospective study. **São Paulo Medical Journal**, v.133, n.3, p.187-90, 2015.

GOMES, V.R.; ARIZA, P.C.; SILVA, M.A.M.; SCHULZ JR., F.J.; OLIVEIRA, H.F.; QUEIROZ, L.L.; BORGES, N.C.; BRAGATO, N.; FIORAVANTI, M.C.S. Mineral composition and clinical aspects of urolithiasis in cats in Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.74, n.4, p.649-661, 2022.

GONÇALVES, B.V.S.; BARBERINI, I.R.; FURTADO, S.K. Urolitíase em felinos: abordagem terapêutica ou cirúrgica? **Scire Salutis**, v.11, n.2, p.1-13, 2021.

GRIFFETH, R.J.; BIANDA, V.; NEF, S. The emerging role of insulin-like growth factors in testis development and function. **Basic and Clinical Andrology**, v.24, n.12, p.1-10, 2014.

GRISOLIA, M.; FAYA, M.; MARCHETTI, C.; MERLO, M.L.; D'FRANCISCO, F.; BELLINI, M.J.; GOBELLO, C. Physical, histological, endocrinological and steroidogenic evaluation of male cats postnatally exposed to sexual steroids. **Theriogenology**, v.138, n.138, p.47-51, 2019.

HORWITZ, D.F. Common feline problem behaviors: urine spraying. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.21, n.3, p.209-219, 2019.

JOHNSON, A.K. Normal feline reproduction: The tom. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.24, n.3, p.212-220, 2022a.

JOHNSON, A. Clinical approach to infertility in the cat. **Clinical Theriogenology**, v.14, n.146, p.1-5, 2022b.

JOHNSON, L.; CARTER, G.K.; VARNER, D.D.; TAYLOR, T.S.; BLANCHARD, T.L.; REMBERT, M.S. The relationship of daily sperm production with number of Sertoli cells and testicular size in adult horses: role of primitive spermatogonia. **Journal of reproduction and fertility**, v.100, n.1, p.315-321, 1994.

JOHNSTON, S.D.; KUSTRITZ, M.V.R.; OLSON, P.N.S. **Canine and feline theriogenology**. 1. ed. Philadelphia (PA): W. B. Saunders, 2001.

KHONMEE, J.; BROWN, J.L.; PÉREZ, A.L.; LERTWICHAIKULT.; SATHANAWONGS, A.; PORNNIMITRA, P.; AREEWONG, C.; SUPANTA, J.; PUNYAPORNWITHAYA, V.; BUDDHASIRI, S.; PUNTUREE, K. Effect of electroejaculation protocols on semen quality and concentrations of testosterone, cortisol, malondialdehyde, and creatine kinase in captive bengal tigers. **Animals**, v.13, n.1893, n.1-12, 2023.

KIM, K.; KIM, J.; KIM, H.-Y. Urethral reconstruction combined with modified urethrostomy in a cat after prepubic urethrostomy. **Acta Scientiae Veterinariae**, v.50, n.1, p.1-2, 2022.

KOEPPEN, B.M.; STANTON, B.A. **Berne RM e Levy MN: Fisiologia**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.

KÖNIG, H.E.; LIEBICH, H.G.. **Anatomia dos Animais Domésticos: Texto e Atlas Colorido**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2016.

KULIBIN, A.Y.; MALOLINA, E.A. *In vitro* spermatogenesis: In search of fully defined conditions. **Frontiers in Cell and Developmental Biology**, v.11, p.1-8, 2023.

KUMAR, K.; KANNAN, T.A.; RAMESH, G.; RAO, G.V.R.; RENGASAMY, S., RAVALI, K.S.; ASMITHA, S. Gross morphometric analysis of the testis of tom cats (*Felis catus*). **The Pharma Innovation Journal**, v.12, n.5, p.4174-4176, 2023.

LITTLE, S.E. **O Gato: Medicina Interna**. 1. ed. Rio de Janeiro: Roca, 2016.

LUVONI, G.C.; KALCHSCHMIDT, E.; LEONI, S.; RUGGIERO, C. Conservation of feline semen. Part I: cooling and freezing protocols. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.5, n.4, p.203-208, 2003.

MACKIE, P.; CHAN, B.; FRANKE, M.; MASTROMONACO, G.F. Urethral catheterization as an alternative method for collecting sperm in the black-footed ferret (*Mustela nigripes*). **Conservation Physiology**, v.8, n.1, p.1-5, 2020.

MACLAUGHLIN, D.T.; TEIXEIRA, J.; DONAHOE, P.K. Perspective: reproductive tract development – new discoveries and future directions. **Endocrinology**, v.142, n.6, p.2167-2172, 2001.

MADRIGAL-VALVERDE, M.; BITTENCOURT, R.F.; RIBEIRO FILHO, A.D.L.; BARBOSA, V.F.; VIEIRA, C.A.; ROMÃO, E.A.; CARNEIRO, I.B.; AZEVEDO, M.C.; ARAUJO, G.R. Quality of domestic cat semen collected by urethral catheterization after the use of different alpha 2-adrenergic agonists. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.23, n.8, p.745-750, 2021.

MÄKELÄ, J.A.; J.J. KOSKENNIEMI; VIRTANEN, H.E.; TOPPARI, J. Testis development. **Endocrine Reviews**, v.40, n.4, p.857-905, 2019.

MARTINS, M.I.M.; ALMEIDA, A.B.M.; HIDALGO, M.M.T. Biotecnologias na preservação de espermatozoides felinos. **Ciência Animal**, v.32, n.2, p.85-100, 2022.

NANAYAKKARAA, S.D.I.; GIHANB, M.C.; NANAYAKKARAC, P.S.K. A review of scrotal temperature regulation and its importance for male fertility. **Sri Lanka Journal of Obstetrics and Gynaecology**, v.43, n.4, p.308-313, 2021.

OLIVA, S.U.; RINALDO, P.A.; STUMPP, T. Biologia epididimária: maturação espermática e expressão gênica. **Mundo Saúde**, v.33, n.4, p.419-425, 2009.

ORR, T.J.; BRENNAN, P.L.R. All features great and small-the potential roles of the baculum and penile spines in mammals. **Integrative and Comparative Biology**, v.56, n.4, p.635-643, 2016.

PALMIERI, C.; FONSECA-ALVES, C.E.; LAUFER-AMORIM, R. A Review on Canine and Feline Prostate Pathology. **Frontiers in Veterinary Science**, v.9, n.881232, p.1-12; 2022.

PENG, Y.K.; TANG, X.T.; SHU, H.S.; DONG, W.; SHAO, H.; ZHOU, B.O. Sertoli cells are the source of stem cell factor for spermatogenesis. **Development**, v.150, n.5, p.1-15, 2023.

PICULO, F.; MARINI, G.; DAMASCENO, D.C.; SINZATO, Y.K.; BARBOSA, A.M.P.; MATHEUS, S.M.M.; RUDGE, M.V.C. Morfologia da uretra. In: **Guia ilustrado da morfologia do tecido uretral de ratas**. São Paulo: UNESP, 2014.

PIMENTA, M.M.; RECHE-JÚNIOR, A.; FREITAS, M.F.; KOGIKA, M.M.; HAGIWARA, M.K. Estudo da ocorrência de litíase renal e ureteral em gatos com doença renal crônica. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.34, n.6, p.555-561, 2014.

PINTUS, E.; KADLEC, M.; KARLASOVÁ, B.; POPELKA, M.; ROS-SANTAELLA, J.L. Spermatogenic Activity and Sperm Traits in Post-Pubertal and Adult Tomcats (*Felis catus*): Implication of Intra-Male Variation in Sperm Size. **Cells**, v.10, n.624, p.2-13, 2021.

POINTIS, G.; FIORINI, C.; DEFAMIE, N.; SEGRETAIN, D. Gap junctional communication in the male reproductive system. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1719, n.1/2, p.102-116, 2005.

RESTREPO, M.T.; ALTUZARRA, R.; ESPADA, Y.; DOMÍNGUEZ, E.; MALLOL, C.; NOVELLAS, R. CT Characterization of the feline os penis. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v.22, n.8, p.673-677, 2020.

RUHUI, T; CHENCHENG, Y.; CHAO, Y.; ZIJUE, Z.; CHONG, L.; ERLEI, Z.; JUNLONG, W.; PENG, L.; HUIXING, C.; QINGQING, Y.; ZUPING, H.; ZHENG, L. Fibroblast growth factor-5 promotes spermatogonial stem cell proliferation via ERK and AKT activation. **Stem Cell Research and Therapy**, v.10, n.40, p.1-14, 2019.

SAMPAIO, K.O.; ALEIXO, G.A.S.; SOUSA-FILHO, R.P.; SILVA, E.C.B. Obstrução uretral em gatos. **Veterinária e Zootecnia**, v.27, p.1-11, 2020.

SÁNCHEZ, A.; TSUTSUI, T. Evaluación de dos diluyentes seminales para preservación refrigerada de espermatozoides de gato (*Felis catus*). **Revista Científica**, v.12, n.4, p.249-253, 2002.

SARFRAZ, A.; UMAR, Z. Maintenance of thermal homeostasis with special emphasis on testicular thermoregulation. **Acta Veterinaria Eurasia**, v.45, n.2, p.63-72, 2019.

SAWAIED, A.; ARAZI, E.; ABUELHIJA, A.; LUNENFELD, E.; HULEIHEL, M. The presence of colony-stimulating factor-1 and its a receptor in different cells of the testis; it involved in the development of spermatogenesis *in vitro*. **International Journal of Molecular Science**, v.22, n.5, p. 2325-2338, 2021.

SENGUL, G, ERTEKIN, C. Human cremaster muscle and cremasteric reflex: a comprehensive review. **Clinical Neurophysiology**, v.131, n.6, p.1354-1364, 2020.

SHAH, W.; KHAN, R.; SHAH, B.; KHAN, A.; DIL, S.; LIU, W.; WEN, J.; JIANG, X. The molecular mechanism of sex hormones on sertoli cell development and proliferation. **Frontiers in Endocrinology**, v.12, n.648141, p.1-13, 2021.

SILVA, A.F.; ESCADA-REBELO, S.; AMARAL, S.; TAVARES, R.S.; SCHLATT, S.; RAMALHO-SANTOS, J.; MOTA, P.C. Can we induce spermatogenesis in the domestic cat using an in vitro tissue culture approach? **Plos One**, v.13, n.2, p.1-14, 2018.

SILVA, L.D.M. Canine and feline testicular preservation. **Animals**, v.12, n.124, p.1-10, 2022.

SMITH, B.J. The Urogenital System. In: HUDSON, L.C.; HAMILTON, W.P. **Atlas of Feline Anatomy**. 2. ed. Jackson (WY): Teton NewMedia, cap. 9, p.171-192, 2010.

SWENSON, M.J.; REECE, W.O. **Dukes. Fisiologia dos Animais Domésticos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2007.

TANAKA, T.; KANATSU-SHINOHARA, M.; LEI, Z.; RAO, C.V.; SHINOHARA, T. The luteinizing hormone-testosterone pathway regulates mouse spermatogonial stem cell self-renewal by suppressing WNT5A expression in sertoli cells. **Stem Cell Reports**, v.7, n.9, p.279-291, 2016.

TSUTSUI, T.; KUWABARA, S.; KUWABARA, K.; KUGOTA, Y.; KINJO, T.; HORI, T. Development of spermatogenic function in the sex maturation process in male cats. **Theriogenology**, v.66, n.9, p.1125-1127, 2004.

VALENTINI, L.; ZUPA, R.; POUSIS, C.; CUKO, R.; CORRIERO, A. proliferation and apoptosis of cat (*Felis catus*) male germ cells during breeding and non-breeding seasons. **Veterinary Science**, v.9, n.447, p.1-8, 2022.

YAN, Y.C.; SUN, Y.P.; ZHANG, M.L. Testis epidermal growth factor and spermatogenesis. **Archives of Andrology**, v.40, n.2, p.133-146, 1998.

YANG, Y.; FENG, Y.; FENG, X.; LIAO, S.; WANG, X.; GAN, H.; WANG, L.; LIN, X.; HAN, C. BMP4 cooperates with retinoic acid to induce the expression of differentiation markers in cultured mouse spermatogonia. **Stem Cells International**, v.2016, p.1-14, 2016.

YEH, J.R.; ZHANG, X.; NAGANO, M.C. WNT5A is a cell-extrinsic factor that supports self renewal of mouse spermatogonial stem cells. **Journal of Cell Science**, v.124, n.14, p.2357-2366, 2011.

YIEE, J.H.; BASKIN, L.S. Penile embryology and anatomy. **The Scientific World Journal**, v.10, p.1174–1179, 2010.

ZAKER, H.; RAZI, M.; MAHMOUDIAN, A.; SOLTANALINEJAD, F. Boosting effect of testosterone on GDNF expression in Sertoli cell line (TM4); comparison between TM3 cells-produced and exogenous testosterone. **Gene**, v.812, n.20, p.146112, 2022.