

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA**

**DESCRIÇÃO DA MORFOLOGIA DO SISTEMA
NERVOSO CENTRAL DE CAPIVARAS (*Hydrochoerus
hydrochaeris*)**

MARIA CLARA UCKER COSTÓDIO

**Botucatu, SP
Julho - 2026**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA**

**DESCRIÇÃO DA MORFOLOGIA DO SISTEMA
NERVOSO CENTRAL DE CAPIVARAS (*Hydrochoerus
hydrochaeris*)**

MARIA CLARA UCKER COSTÓDIO

Dissertação apresentada junto ao Programa
de Pós-Graduação em Animais Selvagens
para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Tais Harumi de Castro
Sasahara.

C842d

Costódio, Maria Clara Ucker

Descrição da morfologia do sistema nervoso central de capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) / Maria Clara Ucker Costódio. -- Botucatu, 2026

40 p. : il., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu

Orientadora: Tais Harumi de Castro Sasahara

1. Neuroanatomia. 2. Sistema Nervoso. 3. Anatomia Comparada. 4. Anatomia Veterinária. 5. Capivaras. I. Título.

Nome do autor: **Maria Clara Ucker Costódio**

TÍTULO: **DESCRIÇÃO DA MORFOLOGIA DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL
DE CAPIVARAS (*Hydrochoerus hydrochaeris*)**

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Tais Harumi de Castro Sasahara

Presidente da banca e orientadora

Departamento de Anatomia - Instituição: Instituto de Biociências de Botucatu -
UNESP

Profa. Dra. Vanessa Belentani Marques

Membro interno

Departamento de Anatomia - Instituição: Instituto de Biociências de Botucatu -
UNESP

Prof. Dr. Silvio Pires Gomes

Membro externo

Departamento de Cirurgia - Instituição: Faculdade de Medicina Veterinária e
Zootecnia da Universidade de São Paulo - FMVZ-USP

Data da Defesa: 01 de julho de 2026.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão à minha professora orientadora, Tais Harumi de Castro Sasahara por toda a confiança, dedicação e generosidade ao longo desta trajetória. Obrigada por me acolher, me ensinar e, principalmente, por me apresentar ao fascinante universo da neurologia, despertando em mim um olhar científico mais crítico, curioso e apaixonado pela neuroanatomia. Sua orientação foi muito além da construção desta dissertação; foi essencial para minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Cada conselho, ensinamento e incentivo contribuíram significativamente para meu crescimento, e levarei comigo toda a admiração e gratidão por ter tido a oportunidade de aprender ao seu lado. À minha mãe, agradeço por ser meu maior alicerce. Obrigada pelo amor incondicional, pelo apoio constante, pelas palavras de conforto nos momentos difíceis e por nunca me deixar desistir dos meus sonhos. Sua força e dedicação sempre foram minha maior inspiração. Aos amigos técnicos e toda a equipe do laboratório, que pude conhecer e ter o privilégio de poder trabalhar junto, meu sincero agradecimento pela disponibilidade, paciência, auxílio e convivência diária. Cada contribuição, por menor que parecesse, foi indispensável para a realização deste trabalho. Aos meus amigos e amigas, obrigada pelo companheirismo, pelas conversas, incentivos e pelos momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve e especial. Ter pessoas queridas ao meu lado fez toda a diferença durante essa jornada. Também gostaria de agradecer aos professores membros da banca examinadora, pela disponibilidade em participar deste momento tão importante da minha formação acadêmica. Agradeço pelas valiosas contribuições, sugestões e pelo olhar crítico e construtivo dedicado a este trabalho, enriquecendo ainda mais esta pesquisa e contribuindo para meu crescimento científico e profissional. À Universidade Estadual Paulista, agradeço pela oportunidade de realizar minha

formação em uma instituição de excelência, e ao Programa de Pós-Graduação em Animais Selvagens, por todo o suporte acadêmico e científico proporcionado durante o mestrado.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à FAPESP – Centro de Ciência para o desenvolvimento: CETRAS UNIVERSITÁRIO – CEMPAS (Centro de Medicina e Pesquisa em Animais Selvagens – Processo nº 2025/07151-1). O apoio e a colaboração oferecidos foram fundamentais para a realização deste projeto, contribuindo de forma significativa para o desenvolvimento das atividades.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pela concessão da bolsa de estudos, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa e para minha dedicação integral à pós-graduação.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta conquista. Esta dissertação representa não apenas um trabalho científico, mas também uma trajetória de aprendizado, superação e crescimento compartilhada com pessoas muito importantes em minha vida.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	I
Resumo	II
Abstract	III
1 INTRODUÇÃO	2
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Características da capivara	4
2.2 Características do Sistema Nervoso Central.....	5
2.3 Histologia.....	6
3 OBJETIVOS	9
Objetivo Geral.....	9
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 Animais e fixação.....	11
4.2 Dissecção.....	11
4.3 Coleta de fragmentos e preparação de lâminas histológicas.....	12
5 RESULTADOS	13
5.1 Resultados.....	13
5.2 Morfologia geral.....	13
5.3 Cortes Coronais.....	18
5.4 Lâminas histológicas.....	22
6 DISCUSSÃO	26
6.1 Morfologia Geral.....	27
6.2 Lâminas histológicas.....	29
7 CONCLUSÕES	32
8 REFERÊNCIAS	33

Lista de Figuras

Figura 1. Vista dorsal do encéfalo de capivara (<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>).....	15
Figura 2. Vista ventral do encéfalo de capivara (<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>).....	16
Figura 3. Vista ventral do encéfalo de capivara (<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>).....	16
Figura 4. Vista lateral esquerda das estruturas laterais do encéfalo de <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	17
Figura 5. Primeiro corte coronal do encéfalo de <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	18
Figura 6. Segundo corte coronal do encéfalo de <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	19
Figura 7. Terceiro corte coronal do encéfalo de <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	19
Figura 8. Quarto corte coronal do encéfalo de <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	20
Figura 9. Quinto corte coronal do encéfalo de <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	21
Figura 10. Sexto corte coronal do encéfalo de <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	22
Figura 11. Lâmina histológica de um fragmento do hipocampo.....	22
Figura 12. Lâmina histológica de um fragmento da medula espinal.....	23
Figura 13. Lâmina histológica de um fragmento do mesencéfalo.....	24
Figura 14. Lâminas histológicas de um fragmento do corpo estriado.....	24
Figura 15. Lâmina histológica de um fragmento do cerebelo.....	25
Figura 16. Lâmina histológica de um fragmento do córtex.....	25

//

COSTÓDIO, M. C. U. DESCRIÇÃO DA MORFOLOGIA DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL DE CAPIVARAS (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Botucatu – SP. 2026. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens – Anatomia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

A capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), maior roedor existente, possui ampla distribuição na América do Sul e ocupa ambientes associados a corpos d'água, apresentando comportamento social complexo e crescente adaptação a áreas urbanizadas. Embora seja uma espécie de relevância ecológica, sanitária e de interesse em estudos multidisciplinares, ainda há escassez de descrições detalhadas sobre seu sistema nervoso central (SNC), especialmente no que se refere à morfologia encefálica, à organização histológica e às particularidades neuroanatômicas comparativas com outros roedores caviomorfos. Este estudo teve como objetivo descrever aspectos macroscópicos do encéfalo da espécie, abrangendo a diferenciação entre substâncias branca e cinzenta, características estruturais gerais e padrões morfológicos relevantes ao entendimento funcional do SNC de capivaras. Foram utilizados cinco espécimes provenientes do Centro de Medicina e Pesquisa em Animais Selvagens (CEMPAS/UNESP), fixados por perfusão via artéria carótida comum com solução de formaldeído a 20%, complementada por infiltração intramuscular e intracavitária. Após fixação por 48 horas, procedeu-se à craniectomia, remoção do encéfalo e conservação em formaldeído a 10%. Os encéfalos foram submetidos a cortes coronais seriados de 10 mm. A metodologia empregada permite a obtenção de contrastes nítidos entre componentes encefálicos, possibilitando a análise estrutural detalhada do SNC. A caracterização neuroanatômica proposta contribuirá para o manejo clínico e sanitário da capivara em centros de triagem, reabilitação e zoológicos, além de fornecer subsídios comparativos para estudos envolvendo roedores neotropicais e espécies caviomorfas.

Palavras-chave: Neuroanatomia; Encéfalo; Técnicas neuro-histoquímicas; Anatomia comparada.

///

COSTÓDIO, M. C. U. DESCRIPTION OF THE MORPHOLOGY OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM OF CAPYBARAS (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Botucatu – SP. 2026. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens – Anatomia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

SUMMARY

The capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), the largest existing rodent, has a wide distribution in South America and occupies environments associated with bodies of water, exhibiting complex social behavior and increasing adaptation to urbanized areas. Although it is a species of ecological and sanitary relevance and of interest in multidisciplinary studies, there are still deficiencies in specific specifications about its central nervous system (CNS), especially regarding brain morphology, histological organization, and neuroanatomical particularities compared to other caviomorph rodents. This study aimed to describe macroscopic aspects of the species' brain, encompassing the differentiation between white and gray matter, general structural characteristics, and morphological patterns relevant to the functional understanding of the capybara's CNS. Five specimens from the Center for Medicine and Research on Wild Animals (CEMPAS/UNESP) were used, fixed by perfusion via common carotid arteries with a 20% formaldehyde solution, supplemented by intramuscular and intracavitary infiltration. After fixation for 48 hours, proceed with craniectomy, removal of the brain, and preservation in 10% formaldehyde. The brains were subjected to serial coronal sections of 10 mm. The methodology employed allows for obtaining clear contrasts between brain components, enabling a detailed structural analysis of the CNS. The proposed neuroanatomical characterization will contribute to the clinical and sanitary management of capybaras in triage centers, rehabilitation centers, and zoos, in addition to providing comparative data for studies involving neotropical rodents and caviomorph species.

Key words: Neuroanatomy; Brain; Neurohistochemical techniques; Comparative anatomy.

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) é o maior roedor do mundo e apresenta ampla distribuição geográfica na América do Sul, ocupando ambientes diversos, especialmente aqueles associados a corpos d'água. Reside em áreas úmidas, como margens de rios, lagos, banhados e pântanos, onde encontra alimento abundante e refúgio contra predadores. Vivem em grupos sociais, os quais podem variar, podendo ser pequenos núcleos familiares ou bem estruturados com grandes agregações, favorecendo as estratégias de defesa e interações sociais (HERRERA et al., 2011).

De acordo com Teodoro e Aoki (2019), estes animais representam um importante grupo de interesse em estudos multidisciplinares, visto que são espécies, que estão sendo frequentemente encontradas em áreas urbanizadas e periurbanas, onde interações com seres humanos e outros animais são comuns. Isso impõe desafios à saúde pública, manejo populacional e conservação de fauna silvestre. São animais que apresentam uma fisiologia particular, que inclui adaptações digestivas e metabólicas a uma dieta herbívora baseada em gramíneas e vegetações aquáticas (DEUTSCH, PUGLIA, 1988). Estes animais contribuem para um sucesso ecológico em diferentes ambientes, devido a dispersão de sementes e por serem animais hospedeiros de vetores zoonóticos (BORGES et al., 1996).

Mesmo devido a esta grande particularidade comportamental, social e fisiológica, ainda são escassas as descrições anatômicas detalhadas de seu sistema nervoso central (SNC), como o encéfalo, especialmente em relação à organização histológica. Da Silva Alves (2024) descreve que o encéfalo de

capivara, apresenta giros cerebrais em maior proporção, sulcos mais desenvolvidos e uma vascularização diferente, ao comparar com outros roedores, a exemplo do porquinho da Índia (*Cavia spp*) (CAMPOS; WELKER, 1976). Ao comparar o bulbo olfatório e o córtex da capivara com a da cutia (*Dasyprocta aguti*), a cutia apresenta um bulbo arredondado, e um córtex apresentando lisencefalia (SANTIAGO et al., 2019)

Estudar a neuroanatomia dessa espécie não apenas amplia o conhecimento sobre roedores neotropicais, mas também fundamenta a compreensão de aspectos da espécie, sobre, como o sistema nervoso central das capivaras apresenta adaptações anatômicas e funcionais que sustentam seu comportamento social, sua dieta herbívora especializada, a capacidade de resposta rápida em ambientes aquáticos e terrestres, sua coordenação motora e resposta a estímulos ambientais e ainda, contribui para estratégias de manejo e conservação da fauna silvestre (DA SILVA ALVES, 2024).

Apesar da espécie não estar na lista de ameaçados de extinção, ainda assim, residem áreas públicas e residenciais, consequentemente, gerando acidentes automobilísticos e com animais domésticos e também, são alvos de caçadores ilegais, acarretando ocasionalmente, o encaminhados para centros de triagem e hospitais veterinários para receberem tratamento médico. Moreto *et al.* (2017), destaca que compreender a anatomia comparada de roedores caviomorfos, pode contribuir de maneira significativa para a área de Medicina Veterinária, uma vez que dados neuro anatômicos e histológicos podem favorecer o manejo clínico e sanitário da capivara em centros de reabilitação, zoológicos e estudos ecológicos e de conservação, bem como oferecer base comparativa para pesquisas de roedores neotropicais, uma vez que a anatomia de animais silvestres é essencial para práticas clínicas e cirúrgicas veterinárias. Sendo assim, há uma lacuna significativa na literatura científica que justifica a necessidade de investigações sistemáticas sobre a neuroanatomia desta espécie.

Comentado [MC1]: SANTIAGO, L. F.; FREIRE, M. A. M.; PÍCANÇO-DINIZ, C. W.; FRANCA, J. G.; PEREIRA, A. The organization and connections of second somatosensory cortex in the agouti. *Frontiers in Neuroanatomy*, Lausanne, v. 12, art. 118, 2019. DOI: 10.3389/fnana.2018.00118. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnana.2018.00118>. Acesso em: 14 jul. 2026

REVISÃO DA LITERATURA

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Características da capivara

As capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) por serem os maiores roedores do mundo, apresentam em média de 100 e 130 cm de quando em cativeiro (OJASTI, 1991). Amplamente distribuída na América do Sul, é possível encontrar este animal desde o oeste dos Andes da Venezuela até La Plata River na Argentina (MONES; OJASTI, 1986; MOREIRA et al., 2013). De acordo com a Embrapa, 2024 no Estado de São Paulo, uma região antropizada, nota-se algumas populações em excedente populacional, gerando conflitos e riscos, como acidentes de trânsito, danos em plantações e disseminação de zoonoses, uma vez que atuam como hospedeiros de carrapatos que transmitem a febre maculosa (FERRAZ et al., 2010).

Esses animais residem em diferentes habitats, incluindo florestas, savanas alagadas e áreas agrícolas (OJASTI, 1991). São exemplos de adaptação ecológica a ambientes úmidos e semi-aquáticos, sempre em locais próximos a corpos d'água, visto que são áreas essenciais para a proteção de predadores, termorregulação e reprodução (ALHO et al., 1987). Devido a essa adaptação de habitat e de anatomia, esses animais possuem uma dieta herbívora (MOREIRA et al., 2013) alimentando-se principalmente de plantas aquáticas, gramíneas e eventualmente de frutas (FERRAZ et al., 2010).

Possuem um trato digestivo especializado, onde o ceco ampliado ajuda na fermentação das fibras vegetais, de acordo com Bressan et al., 2008 essa estrutura facilita a absorção de nutrientes essenciais através de processos microbianos, fundamentais para que haja uma digestão eficaz da celulose e por outro comportamento adaptativo, chamado de cecotrofia, onde, a capivara

complementa sua alimentação através da ingestão de cecotrofos, ou seja, fezes específicas ricas em proteínas e vitaminas, o que contribui para seu alto aproveitamento nutricional e adaptação a ambientes variados (HIRAKAWA, 2002). Ocasionalmente, regurgitam e mastigam seu alimento enquanto estão descansando (LORD, 1994). Apresentam dentes incisivos grandes os quais crescem continuamente, característica primordial para lidar com a abrasão constante causada pela alimentação (MOREIRA et al., 2013). Esses roedores são sociáveis e formam grupos, variando de 2 a 25 indivíduos (SCHALLER; CRAWSHAW JUNIOR, 1981) e sempre com um macho dominante.

2.2 Características do Sistema Nervoso Central

O sistema nervoso dos roedores, de uma maneira geral, é caracterizado por adaptações e mudanças ambientais. A neurogênese pode continuar ao longo da vida em áreas como o hipocampo, sendo um fator importante para a aprendizagem e a memória (BAVARESCO, 2016). A plasticidade neural é um aspecto primordial em roedores, pois é a responsável pelas adaptações e mudanças ambientais. (MELO, 2022). O sistema nervoso central (SNC), especialmente o cérebro, é fundamental para medir seu comportamento social complexo, em relação à organização social entre os indivíduos, comunicação através de vocalizações e posturas corporais (ALHO, 1987). Os nervos ligados aos órgãos relacionados à audição e olfato, foram adaptados para um melhor processamento de informações, cuja sensibilidade auditiva é afinada para detectar vocalizações específicas dentro do grupo e a sensibilidade olfativa medida por uma grande quantidade de células receptoras no epitélio olfativo. Essas características são evidências de uma boa evolução, a análise desses aspectos tornam-se essenciais para o manejo e pesquisa da espécie. O encéfalo das capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), quando analisado com o de outras espécies, apresentam características específicas, principalmente no que se refere à sua vascularização, que é uma grande variável entre os roedores, sendo constituído por regiões encefálicas distintas e funcionalmente integradas (GETTY, et al., 1981; FLETCHER; BEITZ, 2013).

Sendo assim, este estudo aborda a divisão macroscópica e microscópica, sendo as principais divisões: cérebro, cerebelo e tronco encefálico. Destacando a disposição dos hemisférios cerebrais, giros, sulcos e principais subdivisões neuroanatômicas.

2.3 Histologia

O sistema nervoso central (SNC) é composto pelo encéfalo e pela medula espinal, possui, em sua histologia, dois tipos celulares: os neurônios e as células da glia. Os neurônios são as principais células do tecido nervoso, responsáveis por receber estímulos, processá-los e transmitir informações através de impulsos elétricos e químicos (SAMUELSON, 2007). Apresentam como componentes o corpo celular, o axônio e os dendritos. Podem ser agrupados funcionalmente como sensitivos, quando levam o estímulo dos receptores ao SNC; motores, quando levam o estímulo do SNC para células efectoras; e interneurônios, quando formam uma rede de integração entre esses dois tipos. As células da glia são divididas em 4 tipos principais: astrócitos, oligodendrócitos, células da micróglia e células endoteliais (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023).

De modo geral, o sistema nervoso central é dividido em uma porção de substância cinzenta, principal local de ocorrência das sinapses, caracterizada pela presença de corpos celulares, dendritos, axônios e células gliais. Essa organização varia conforme a região do SNC, especialmente entre a medula e o encéfalo, este, que pode ser subdividido em três diferentes porções, como citado anteriormente: cérebro, cerebelo e tronco encefálico (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023; MACHADO; HAERTEL, 2022).

Tanto no cérebro quanto no cerebelo, a disposição da substância cinzenta e da substância branca apresenta-se inversa à observada na medula espinal. No cérebro, o córtex cerebral, localizado na porção mais externa do encéfalo, é constituído por substância cinzenta, enquanto a substância branca ocupa regiões mais internas. O cerebelo apresenta organização semelhante, com um córtex externo formado por substância cinzenta e uma região central

composta por substância branca (SAMUELSON, 2007; MACHADO; HAERTEL, 2022).

O córtex cerebelar distingue-se por sua organização em três camadas histologicamente bem definidas. A camada granulosa, mais interna, é composta predominantemente por células granulares, consideradas alguns dos menores neurônios do organismo. Externamente a ela encontra-se a camada de células de Purkinje, caracterizada por uma única fileira de grandes neurônios extensos, onde os dendritos e ramificações se estendem para a terceira e última camada, denominada camada molecular, onde há a presença de corpos celulares e fibras nervosas. (SAMUELSON, 2007; MACHADO; HAERTEL, 2022; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023)

OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

O trabalho objetivou descrever a anatomia macroscópica e microscópica do sistema nervoso central de capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*).

a – descrever a anatomia macroscópica do encéfalo da capivara.

b – descrever a anatomia microscópica do encéfalo da capivara

Comentado [MCUC2]: Manter como o do modelo ou como o do corrigido?

MATERIAIS E MÉTODOS

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Animais e fixação

A metodologia apresentada neste projeto foi aprovada na Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP sob nº 000.257. Foram utilizadas cinco capivaras, fêmeas doadas pelo Centro de Medicina e Pesquisa em Animais Selvagens (CEMPAS) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP, Campus de Botucatu.

Os animais foram fixados com solução de formaldeído 10% via artéria carótida comum. Para complementar a fixação foram realizadas infiltrações intramusculares e intracavitárias com a mesma solução fixadora. Em seguida, os animais foram mantidos em caixas, imersos na solução fixadora por pelo menos 48 horas antes da dissecação

4.2 Dissecação

A dissecação de dois encéfalos foi realizada retirando a pele com o auxílio de instrumentos cirúrgicos, com tesouras Romba Romba, Rombo fina e Íris e com lâmina de bisturi nº 10. Para a craniectomia utilizou-se uma Dremel® 3000 micro retifica com eixo flexível. Após o registro fotográfico do encéfalo o qual não apresentava autólise, realizou-se cortes coronais com auxílio de uma lâmina de bisturi para visualização macroscópica das estruturas internas. Os seis níveis de secção coronal foram definidos com base em marcos anatômicos macroscópicos distribuídos ao longo do eixo rostrocaudal do encéfalo, de modo

a contemplar as principais regiões encefálicas e possibilitar a visualização sequencial de estruturas representativas do telencéfalo, diencefalo, mesencéfalo e cerebelo. A seleção desses níveis buscou garantir uma amostragem anatômica abrangente, permitindo a identificação e a descrição das principais estruturas encefálicas em diferentes planos.

4.3 Coleta de fragmentos e preparação de lâminas histológicas

Após a retirada de encéfalos e dos cortes, todo o material foi armazenado em formaldeído 10%. Com o material fixado, realizou-se coleta de fragmentos do encéfalo de diferentes regiões para a preparação de lâminas histológicas do sistema nervoso central (SNC). Após a coleta, realizou-se a lavagem em séries crescentes de etanol, diafanização em xilol e inclusão em parafina. Foram gerados cortes seriados em micrótomo, com espessuras entre 3 e 7 μm , como sugere Luna (1992). Após a microtomia, realizou-se a desparafinização e os cortes passaram por xilol e foram reidratados em ordem decrescente de etanol e coradas com hematoxilina-eosina, seguida da desidratação, diafanização e montagem das lâminas com Permount®. As imagens foram capturadas por meio de câmera digital (Olympus SC30, Olympus®, Japan) acoplada ao microscópio de luz (Olympus BX41, Olympus®, Japan).

RESULTADOS

5 RESULTADOS

5.1 Resultados

Os resultados apresentados neste estudo baseiam-se na análise da anatomia externa do encéfalo e por meio de cortes coronais sequenciais, os quais foram realizados no sentido rostro caudal. Os dados obtidos são apresentados a seguir por meio de imagens e representações esquemáticas, de forma a demonstrar os principais achados da pesquisa.

Os achados anatômicos macroscópicos obtidos a partir da análise dos encéfalos das capivaras permitiram identificar de forma detalhada a organização das principais estruturas neuroanatômicas, apresentando hemisférios cerebrais bem desenvolvidos, cerebelo volumoso e tronco encefálico proporcionalmente alongado. Nas figuras 1, 2, 3 e 4 são descritos os elementos estruturais observados, com ênfase na morfologia externa e nas características específicas da espécie.

Nas imagens 5, 6, 7, 8, 9 e 10 estão descritas as estruturas internas visíveis em cortes coronais, enquanto que nas imagens 11, 12, 13, 14, 15 e 16 observa-se a disposição histológica do hipocampo, medula espinal, mesencéfalo, cerebelo, córtex e tronco encefálico.

A descrição detalhada das estruturas segue abaixo, permitindo comparação com um desenho esquemático.

5.2 Morfologia Geral

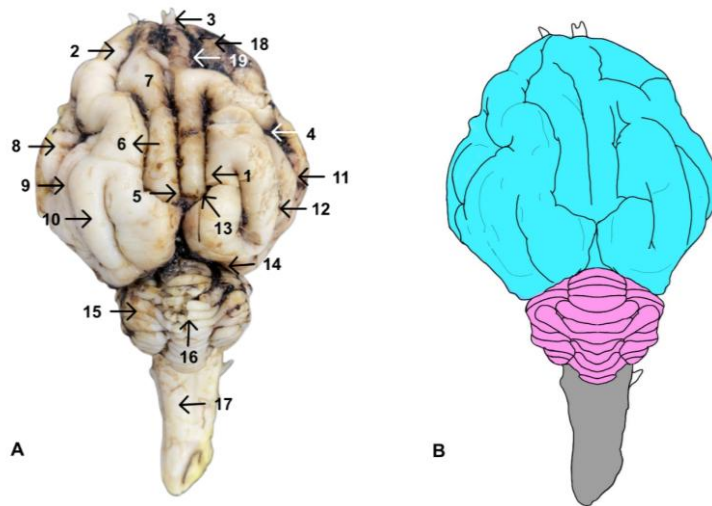


Fig. 1. A) Vista dorsal do encéfalo de capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Giro marginal (1), Giro frontal (2), Bulbo olfatório (3), Sulco coronal (4), Fissura longitudinal (5), Giro pós-cruciato (6), Giro pré-cruciato (7), Giro de Sylvius (8), Giro ectossilviano (9), Giro suprassilviano (10), Sulco suprassilviano (11), Sulco ectossilviano (12), Sulco marginal (13), Fissura transversa (14), Hemisfério cerebelar (15), Vérnis cerebelar (16), Medula oblonga (17), Giro proreano (18) e Sulco proreano (19). B) Representação esquemática das estruturas dorsais do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*. Cérebro (azul), Cerebelo (rosa) e Medula espinal (cinza). Fonte: Fotografia e ilustração de autoria própria.

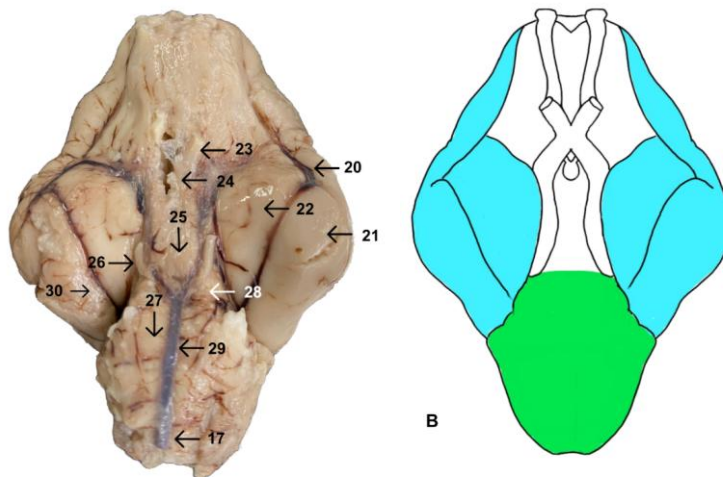


Fig. 2. A) Vista ventral do encéfalo de capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Medula oblonga (17), Sulco rinal (20), Lobo temporal (21), Lobo piriforme (22), Nervo craniano II (23), Quiasma óptico (24), Hipófise (25), Nervo oculomotor (26), Ponte (27), Pedúnculo cerebral (28), Artéria basilar (29), Giro parahipocampal (30). B) Representação esquemática das estruturas ventrais do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*. Cérebro (azul) e tronco encefálico, (verde). Fonte: Fotografia e ilustração de autoria própria.

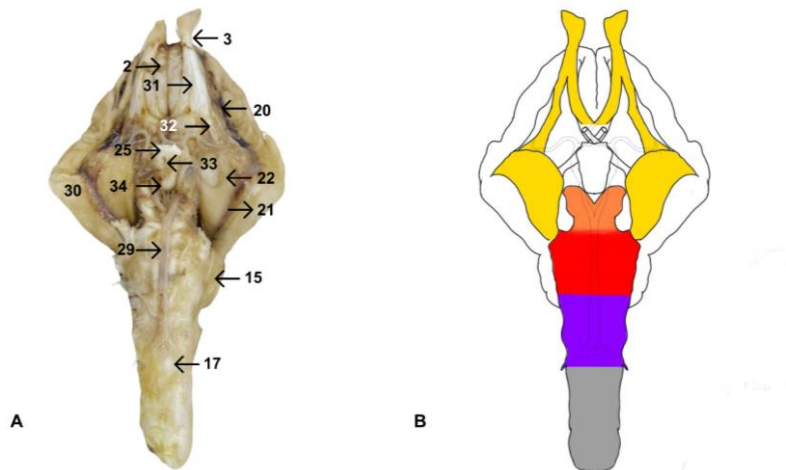


Fig. 3. A) Vista ventral do encéfalo de capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Giro frontal (2), Bulbo olfatório (3), Hemisferio cerebelar (15), Medula oblonga (17), Sulco rinal (20), Lobo temporal (21), Lobo piriforme (22), Hipófise (25), Artéria basilar (29), Trato olfatório (31), Lateral do trato olfatório (32), Tuber cinéreo (33), Corpo mamilar (34). B) Representação esquemática das estruturas ventrais do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*. Rinencéfalo (amarelo), Mesencéfalo (laranja), Ponte (vermelho), Medula Oblonga (roxo), Medula espinal (cinza). Fonte: Fotografia e ilustração de autoria própria.

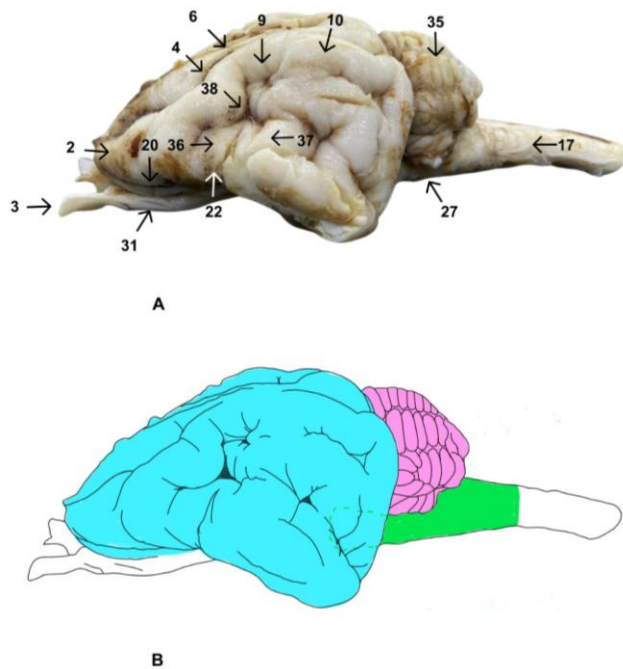


Fig. 4. A) Vista lateral esquerda das estruturas do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*. Bulbo olfatório (3), Giro pós-,cruciato (6), Giro ectossilviano (9), Giro suprasilviano (10), Medula oblonga (17), Sulco rinal (20), Lobo piriforme (22), Ponte (27), Giro frontal (2), Trato olfatório (31), Sulco coronal (4), Cerebelo (35), Porção rostral do giro de Sylvius (36), Porção caudal do giro de Sylvius (37), Fissura pseudossilviana (38). B) Representação esquemática das estruturas laterais esquerdas do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*. Cerébro (azul),

Cerebelo (rosa) e Tronco encefálico (verde). Fonte: Fotografia e ilustração de autoria própria.

5.3 Cortes Coronais

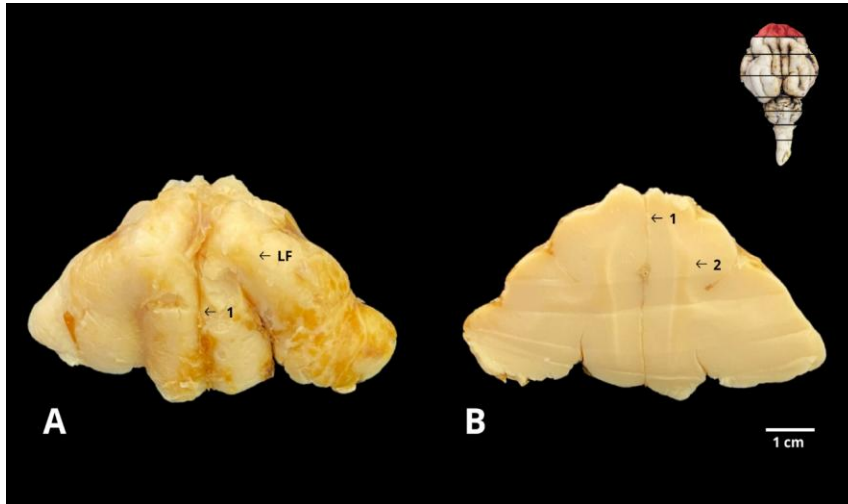


Fig. 5. Primeiro corte coronal do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*, com representação esquemática sinalizando a localização. A) O lobo frontal (LF) está relacionado às funções motoras, cognitivas e comportamentais, participando do planejamento motor, raciocínio e controle voluntário dos movimentos. A fissura longitudinal (1) corresponde ao sulco profundo que separa os hemisférios cerebrais direito e esquerdo. Já a substância branca (2) é composta predominantemente por fibras nervosas mielinizadas responsáveis pela comunicação entre diferentes regiões do sistema nervoso central.

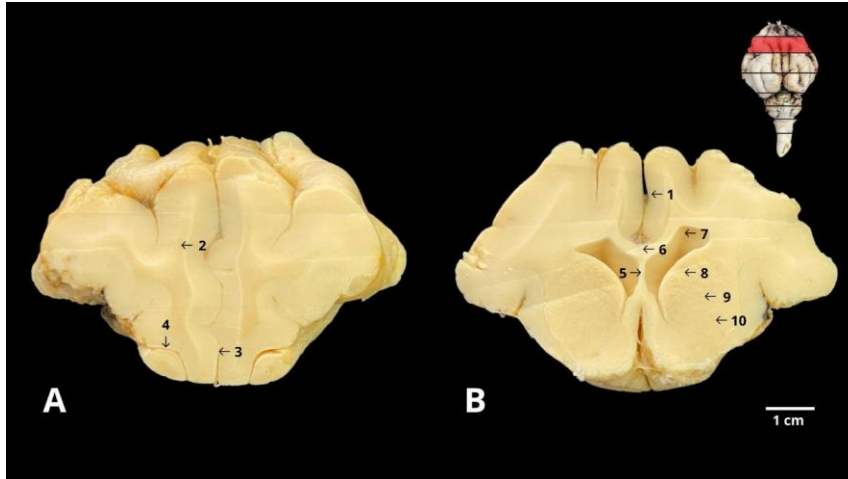


Fig. 6. Segundo corte coronal do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*, com representação esquemática sinalizando a localização. A) Na vista rostral, observa-se a substância branca (2), o giro subcaloso (3), o sulco rinal, o qual está associado à delimitação de áreas olfatórias do telencéfalo (4). B) Na vista caudal, observa-se o septo telencéfalico (5), situado entre os ventrículos laterais (7) e o joelho do corpo caloso (6). Já o núcleo caudado (8), putamen (9) e o globo pálido (10), integram os núcleos da base, atuando no controle e modulação dos movimentos voluntários.

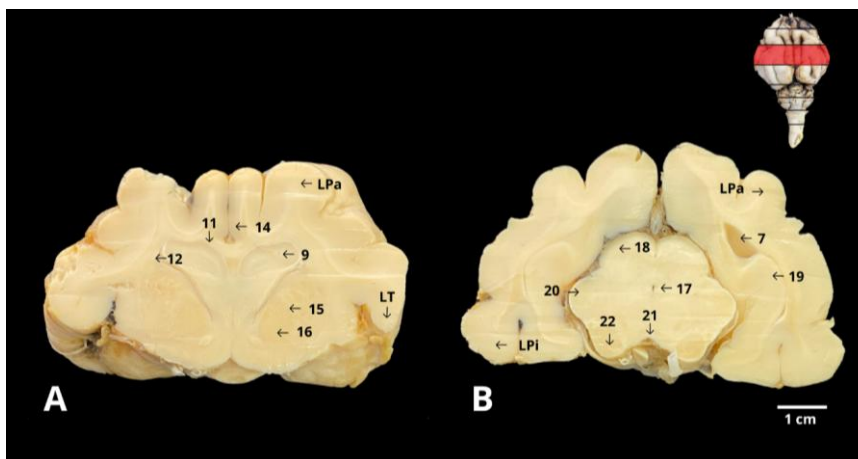


Fig. 7. Terceiro corte coronal do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*. A) Na vista rostral, observa-se o lobo parietal (LPa) e o lobo temporal (LT), os quais estão relacionados às funções sensitivas, auditivas e de memória. O corpo caloso (11) conecta os hemisférios cerebrais, enquanto a cápsula interna (12) conduz fibras nervosas. O putâmen (9), giro do cíngulo (14), e o globos pálidos, lateral (15) e medial (16) participam do controle motor. B) Na vista caudal, observa-se o lobo piriforme (LPi), relacionado ao olfato, o ventrículo lateral (6), o infundíbulo (17), o colículo rostral (18) e caudal (20), os quais são associados aos reflexos visuais e auditivos, além do hipocampo (19), da fossa interpeduncular (21) e dos pedúnculos cerebrais (22).

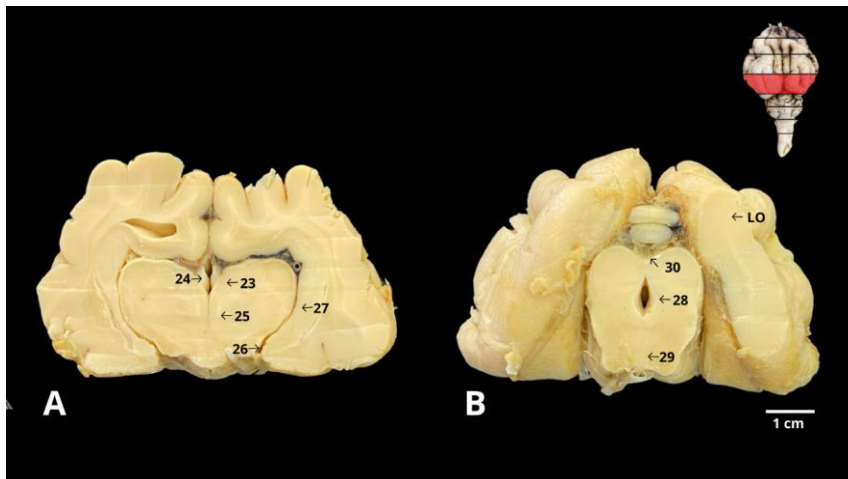


Fig. 8. Quarto corte coronal do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*, com representação esquemática sinalizando a localização. A) Na vista rostral, observa-se o núcleo caudado (23), III ventrículo (24), o qual corresponde a uma cavidade preenchida pelo líquido cefalorraquidiano, localizada entre os tálamos (25). O sulco lateral, ou de Sylvius (26) delimita os lobos temporal e frontal, enquanto o lobo insular (27) participa de funções sensoriais. B) Na vista caudal, observa-se o lobo occipital (LO), relacionado ao processamento visual, o aqueduto mesencefálico (28), que conecta o III ao IV ventrículo, a ponte (29), envolvida na condução de impulsos nervosos, e a comissura caudal (30).

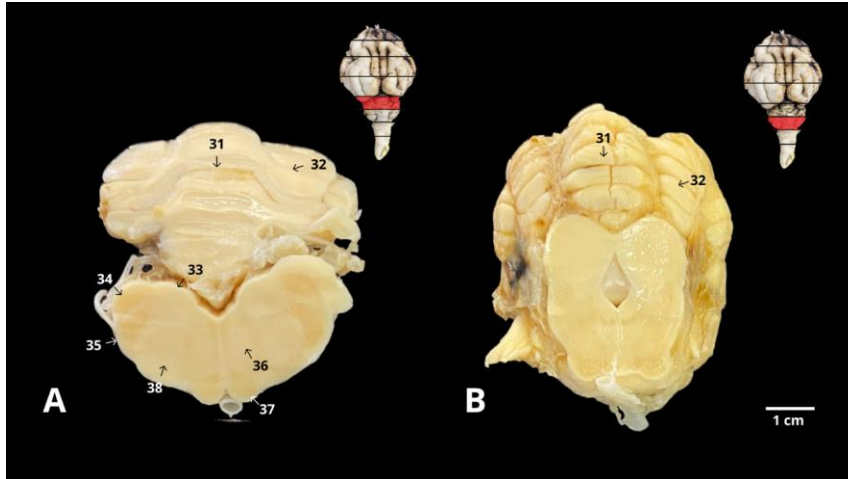


Fig. 9. Quinto e sexto corte coronal do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*, com representação esquemática sinalizando a localização. A) Na vista rostral observa-se o vérmis cerebelar (31), que corresponde à porção mediana do cerebelo. Já o pedúnculo cerebelar rostral (33), pedúnculo cerebelar médio (34) e pedúnculo cerebelar caudal (35), consistem em feixes de fibras nervosas que conectam o cerebelo ao tronco encefálico. O bulbo (36) é a porção caudal e conduz impulsos nervosos entre o encéfalo e a medula espinal. Nota-se também a pirâmide (37) e o corpo do trapézio (38). B) Na vista caudal, observa-se o (31) o vérmis cerebelar e o (32) hemisfério cerebelar.

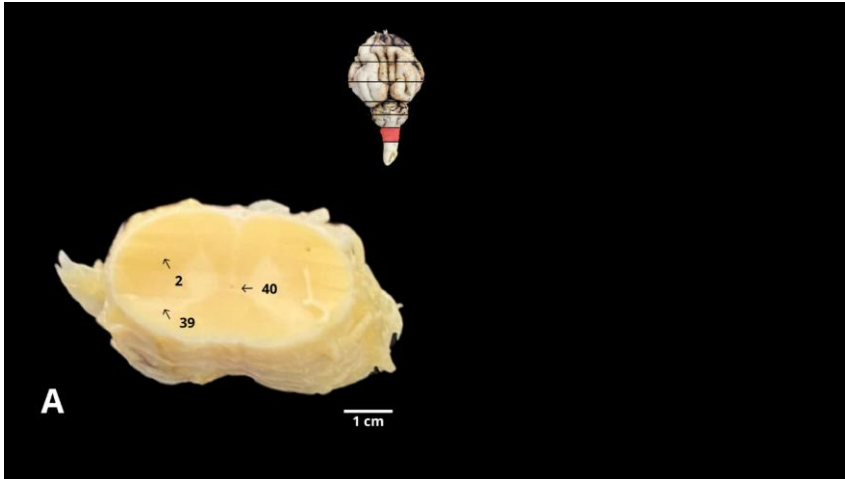


Fig. 10. Sétimo corte coronal do encéfalo de *Hydrochoerus hydrochaeris*, com representação esquemática sinalizando a localização. A) Vista caudal, substância branca (2). A substância cinzenta (39) localiza-se na porção central da medula espinal, a disposição assume formato característico semelhante à letra “H”. A região central da substância cinzenta é atravessada pelo canal central da medula (40), também denominado canal endimário. Esse canal contém líquido cefalorraquidiano.

5.4 Lâminas Histológicas

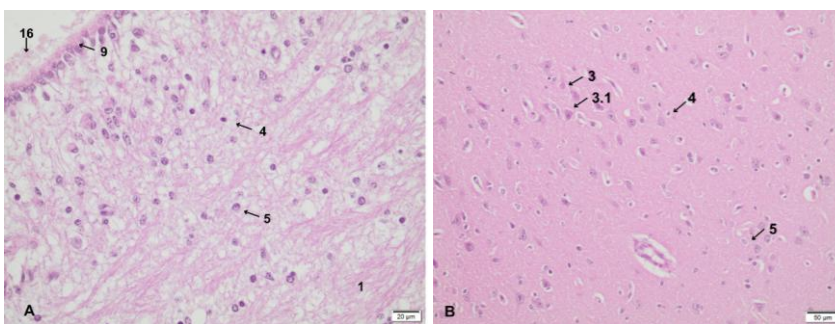


Fig. 11. Fotomicrografia do hipocampo de capivara. A) Na região de fundo, evidencia-se a substância branca (1), com predomínio de fibras nervosas

mielinizadas organizadas em aspecto fibrilar, devido aos axônios mielinizados e células da glia, representadas pelo número (4) e (5). Nota-se a presença de células ependimárias (9) e cílios (16). B) As células da glia, são essenciais para os neurônios (3), pois dão sustentação e garantem a sobrevivência e funcionalidade dos mesmos. Os neurônios são classificados anatomicamente com base no número de prolongamentos e formato. Coloração com hematoxilina e eosina (A, B). Barra de escala: A = 20µm, B = 50 µm.

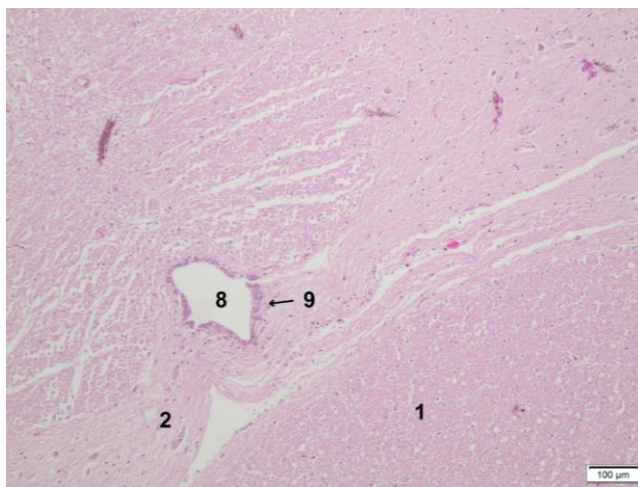


Fig. 12. Fotomicrografia da medula espinal da capivara. Na região à esquerda, há a presença de substância cinzenta (2) e, adjacente, há a substância branca (1). Ao meio, nota-se o canal central da medula espinal (8), com a presença de células ependimárias (9) encontradas no canal vertebral, responsáveis pela produção de líquido cefalorraquidiano. Coloração com hematoxilina e eosina (A). Barra de escala: 100µm.

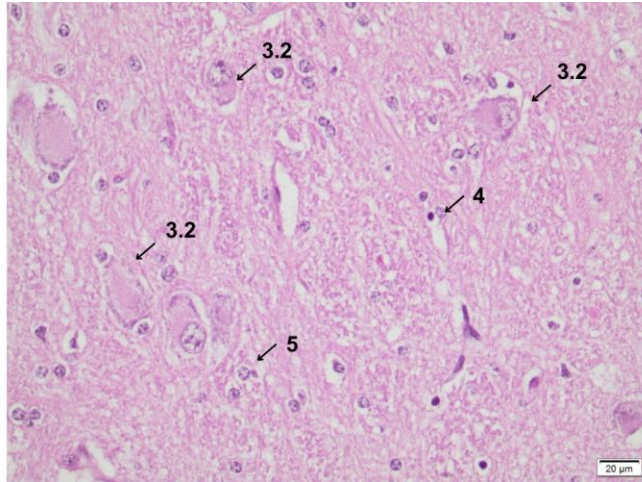


Fig. 13. Fotomicrografia do mesencéfalo da capivara. Os astrócitos (5) consistem em células gliais volumosas que desempenham funções de sustentação e proteção, enquanto que os oligodendrócitos (4) revestem o axônio, produzindo a mielina. Identifica-se diversos neurônios globosos (3.2). Coloração com hematoxilina e eosina (A). Barra de escala: 20μm.

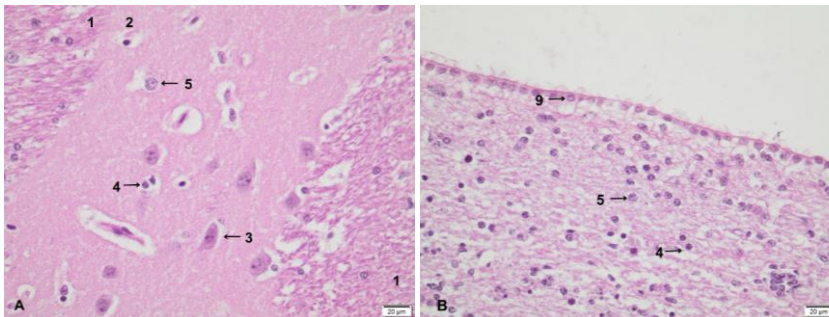


Fig. 14. Fotomicrografia do corpo estriado da capivara. Nas imagens, nota-se a substância branca (1) e cinzenta (2), neurônios (3), presença de oligodendrócitos (4), astrócitos (5) e células ependimárias (9) do ventrículo. Coloração com hematoxilina e eosina (A, B). Barra de escala: A = 20μm, B = 20 μm.

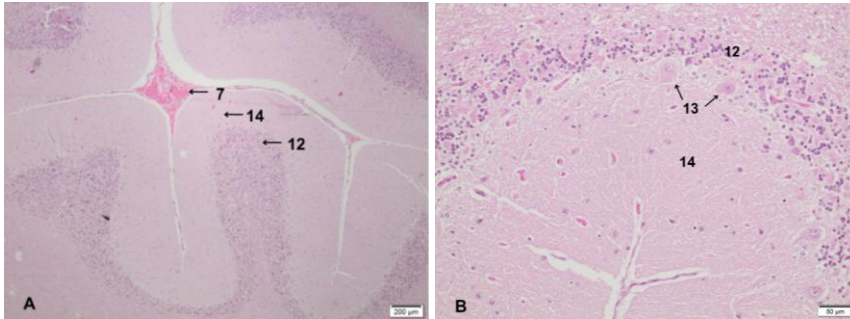


Fig. 15. Fotomicrografia do cerebelo da capivara. A) Nota-se aspectos característicos de circunvoluções cerebelares, e ao centro, vasos sanguíneos (7). As camadas são bem evidenciadas em (A e B), sendo estas, a camada granular (12), camada de células de purkinje (13) e a camada molecular (14). Coloração com hematoxilina e eosina (A, B). Barra de escala: A = 200µm, B = 50 µm.

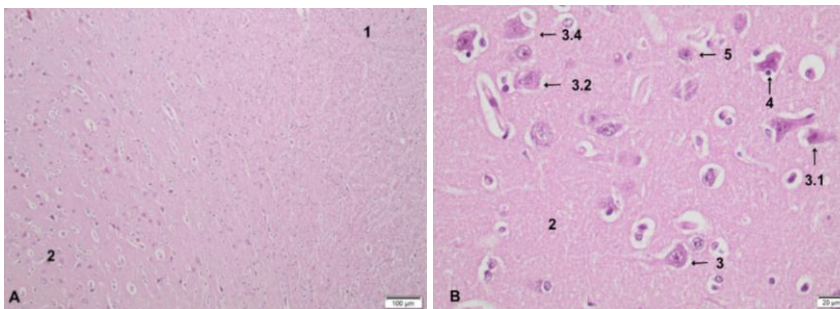


Fig. 16 Fotomicrografia do córtex frontal da capivara. A) Há a camada da substância branca (1) e substância cinzenta (2). B) Observa-se a presença de diferentes tipos de neurônios (3), sendo estes: neurônio piramidal (3.1), neurônio globoso (3.2) e neurônio bipolar (3.4). Encontra-se oligodendrócitos (4) e astrócitos (5). Coloração com hematoxilina e eosina (A, B). Barra de escala: A = 100µm, B = 20 µm.

DISCUSSÃO

6 DISCUSSÃO

6.1 *Morfologia Geral*

A análise morfológica do encéfalo da capivara apresenta configuração típica de roedores caviomorfos, apresentando algumas particularidades próprias da espécie, ao comparar com outros roedores, nota-se sulcos e giros mais proeminentes, uma vez que a maioria dos roedores apresentam lisencefalia (CAMPOS; WELKER, 1976; FERREIRA et al., 2022). A neocorticalização refere-se à expansão evolutiva e funcional do neocórtex, associada ao aumento das capacidades cognitivas, sensoriais e motoras dos mamíferos (RAKIC, 2009). De acordo com Ferreira et al. 2022; Herrera et al. 1987, o desenvolvimento desta região está associado à uma maior capacidade de processamento das informações auditivas. Visto que, são animais altamente sociáveis e vivem em grandes grupos organizados, estabelecendo uma relação social hierarquizada e complexa.

O tronco encefálico, composto por mesencéfalo ponte e bulbo mostrou-se robusto. A disposição topográfica é compatível com o padrão descrito para outros roedores sul-americanos de grande porte (NOGUEIRA; NOGUEIRA-FILHO, 2023) e a de pequenos animais (BAGLEY et al., 2009). Os hemisférios cerebrais compõem a conformação hexagonal, sendo estes, bem desenvolvidos e separados pela fissura longitudinal mediana. O pedúnculo olfatório, ao comparar macroscopicamente com o encéfalo da paca (SASAHARA et al., 2020) e do porquinho-da-índia (CAMPOS; WELKER, 1976), apresenta-se em uma formação mais alongada.

O bulbo olfatório da capivara, localizado na extremidade rostral, é proporcionalmente grandes em relação ao volume encefálico total e tem um aspecto largo e similar a outros roedores caviomorfos, como a cobaia (*Cavia porcellus*) (CAMPOS; WELKER, 1976) e a paca (*Cuniculus paca*) (FERREIRA et al., 2022). Estudos comparativos demonstram que o tamanho do bulbo olfatório varia amplamente entre mamíferos (RIBEIRO et al., 2014) fato reforçado por dados experimentais que evidenciam a dependência de odores para reconhecimento social e interações intraespecíficas em roedores (VANDERWOLF; BAKER, 1989). Assim, a presença de bulbos olfatórios volumosos nas capivaras analisadas pode refletir uma adaptação neuroanatômica à ecologia e sociabilidade da espécie (BLAZER; SMITH, 2024).

De acordo com Bagley et al. (2009), o mesencéfalo em pequenos animais, como em cachorros, torna-se de possível visualização, apenas após a remoção do cerebelo e da parte dos hemisférios cerebrais, tornando evidente o tecto, constituído por dois pares de colículos, rostral e caudal. O cerebelo da capivara apresenta um padrão transversal com lobulações marcadas e bem definidas, apresentando um diâmetro maior na direção rostrocaudal. A superfície dorsal apresenta uma foliação fina e contínua, similar ao padrão descrito em outros caviomorfos (PAXINOS, 2015). Os presença de colículos, visíveis nos cortes coronais como pequenas estruturas abauladas, de acordo com Da Silva Alves (2024), essas estruturas indicam a relevância dos estímulos visuais e auditivos nas interações sociais das capivaras.

A porção ventral é constituída por fibras transversais que percorrem a superfície ventral da ponte e se projetam em direção ao cerebelo, formando o pedúnculo cerebelar médio (BEITZ; FLETCHER, 1993). O cerebelo apresenta-se pequeno e compacto, com o vérmis cerebelar em ambos os hemisférios (MONES; OJASTI, 1986). Estes animais, por serem animais aquáticos, utilizam dos recursos anatômicos e vantagens evolutivas para desenvolverem a capacidade de nado e mergulho (MONES; OJASTI, 1986), caracterizando, portanto, a capacidade de exercer atividades complexas as quais exigem coordenação motora. Autores descrevem a anatomia da medula oblonga em animais domésticos, semelhante ao apresentado pelas capivaras, sendo esta, continua a medula espinhal (KONIG; LIEBICH 2016).

A artéria basilar, localizada na superfície ventral do bulbo e ponte, apresenta um vaso calibroso e reto, assim como ocorre na paca (SASAHARA et al., 2020) e na chinchilla (ARAÚJO; CAMPOS, 2009).

6.2 Lâminas histológicas

Os neurônios podem ser classificados anatomicamente com base no número de prolongamentos, na capivara, observa-se diferentes tipos, como os neurônios multipolares (um axônio e dois ou mais dendritos), bipolares (um axônio e um dendrito), unipolares (somente um axônio que se bifurca em um ramo central e um periférico) e piramidais (PAWLINA, 2019).

No tronco encefálico da capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), observa-se uma organização típica de neurônios motores e células da glia. Em continuidade, a medula espinhal, apresenta uma organização característica, organizando-se de modo que a substância cinzenta é concentrada em seu interior, formando o característico canal medular em formato de "H", enquanto que a substância branca, por sua vez, é encontrada mais externamente, tendo ao centro o canal medular, as células ependimárias e uma ampla distribuição de astrócitos, oligodendrócitos e micróglia, além de inúmeros neurônios (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023)

As células ependimárias, são encontradas nos ventrículos do encéfalo e no canal vertebral, uma vez que formam um revestimento epitelial, auxiliando no transporte de substâncias e produzindo líquido cefalorraquidiano. Os astrócitos e os oligodendrócitos, mostram-se presentes em diferentes lâminas, uma vez que são importantes para formarem uma sustentação e proteção do SNC, sendo portanto, os astrócitos grandes células que além do papel estrutural, são essenciais na modulação de atividades neuronais e participam da barreira hematoencefálica e os oligodendrócitos, são os responsáveis pela produção de mielina do SNC, revestindo o axônio. Enquanto que as células da micróglia são pequenas e possuem atividade fagocítica, sendo consideradas macrófagos, ou seja, realizam proteção contra organismos

invasores, além de participar de processos inflamatórios e de defesa do SNC (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023).

Na região do mesencéfalo, observa-se a presença de núcleos endoteliais, vaso sanguíneo e hemácia, juntamente com neurônios e astrócitos, sendo um arranjo compatível com funções de integração sensório-motora. O corpo estriado apresenta predomínio de substância cinzenta organizada em núcleos, com ampla distribuição de neurônios, organizados em meio ao neuropilo, incluindo neurônios globosos, há a presença de astrócitos, oligodendrócitos e células ependimárias, refletindo a delimitação observada macroscopicamente nos hemisférios cerebrais. (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023).

O córtex cerebelar apresenta uma organização altamente conservada entre os mamíferos, sendo constituído por três camadas histologicamente distintas: a camada molecular, a camada de células de Purkinje e a camada granulosa (PAWLINA, 2019; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023). A camada molecular corresponde à porção mais superficial do córtex cerebelar e é relativamente pobre em corpos celulares, sendo composta predominantemente pelos dendritos das células de Purkinje, axônios das células granulares (fibras paralelas) e interneurônios inibitórios. Essa organização favorece a integração sináptica e a modulação da atividade das células de Purkinje, desempenhando papel fundamental no processamento das informações motoras. A camada de células de Purkinje consiste em uma única fileira de grandes neurônios piriformes, cujos dendritos ramificados se projetam para a camada molecular e cujos axônios constituem a principal via eferente do córtex cerebelar em direção aos núcleos cerebelares profundos. Dessa forma, as células de Purkinje representam o principal elemento integrador e de saída do córtex cerebelar. Já a camada granulosa, localizada profundamente à camada de Purkinje, é formada por grande quantidade de pequenas células granulares, consideradas os neurônios mais numerosos do sistema nervoso central. Essas células enviam seus axônios para a camada molecular, onde originam as fibras paralelas que estabelecem sinapses com os dendritos das células de Purkinje, participando diretamente da coordenação motora, do equilíbrio e da aprendizagem motora (PAWLINA, 2020; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023; SQUIRE et al., 2013).

Comentado [MC3]: SQUIRE, Larry R.; BERG, Darwin; BLOOM, Floyd E.; DU LAC, Sascha; GHOSH, Anirvan; SPITZER, Nicholas C. *Fundamental neuroscience*. 4. ed. Amsterdam: Academic Press, 2013

O córtex cerebral apresenta organização laminar da substância cinzenta, com neurônios distribuídos em camadas sobrejacentes à substância branca, sendo estes, neurônios bipolares e multipolares, há presença de células da glia distribuídas por toda as camadas sobrejacentes à substância branca, correlacionando-se com a espessura e a presença de giros e sulcos observados macroscopicamente (NIEUWENHUY, et al., 1998). Embora a presente pesquisa tenha como foco a descrição anatômica e histológica do córtex cerebral da capivara, não foi possível identificar com clareza, nas lâminas analisadas, a organização laminar característica do córtex cerebral, o que impossibilitou a individualização de suas camadas. Entretanto, de acordo com a literatura, o córtex cerebral dos mamíferos apresenta uma organização altamente conservada, composta por seis camadas histológicas: camada molecular (I), camada granular externa (II), camada piramidal externa (III), camada granular interna (IV), camada piramidal interna (V) e camada multiforme ou polimórfica (VI) (PAWLINA, 2019; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023). Essas camadas diferem quanto à composição celular, densidade neuronal e padrões de conectividade, refletindo sua especialização funcional. Entre os principais tipos celulares destacam-se os neurônios piramidais, responsáveis pelas principais vias de projeção do córtex cerebral para outras regiões corticais e subcorticais, os neurônios granulares (ou estrelados), envolvidos na recepção e integração de informações provenientes do córtex e do tálamo, além de interneurônios inibitórios, predominantemente GABAérgicos, que exercem importante papel na modulação da atividade neuronal (KANDEL et al., 2021; SQUIRE et al., 2013). Dessa forma, embora a organização laminar não tenha sido evidenciada no presente estudo, sua descrição contribui para contextualizar a arquitetura histológica esperada do córtex cerebral da espécie e fornece subsídios para futuras investigações utilizando técnicas histológicas e de coloração que permitam melhor definição dessas camadas.

Adicionalmente, nota-se a presença de vascularização compatível com a demanda metabólica da região, reforçando a integração entre morfologia estrutural e função no sistema nervoso central. (MACHADO; HAERTEL, 2022; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023).

CONCLUSÕES

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que:

A morfologia do encéfalo de capivara evidencia que roedores de grande porte possuem uma complexidade de giros e sulcos cerebrais superiores, ao comparar com outros representantes da mesma ordem. Entretanto, ao comparar com animais domésticos, esta complexidade torna-se menos acentuada devido á algumas similaridades e particularidades anatômicas. Estima-se de que, a complexidade apresentada nos encéfalos de capivaras é devido a adaptação evolutiva do animal e aos seus comportamentos de sociabilidade, aprendizagem e flexibilidade comportamental. Embora este estudo tenha fornecido uma descrição inédita e detalhada da anatomia macroscópica do encéfalo da capivara, algumas limitações devem ser consideradas. Os achados representam uma contribuição relevante para o conhecimento da neuroanatomia da espécie, fornecendo subsídios para investigações futuras. Estudos com maior número amostral, associados a análises morfométricas, estereológicas, reconstruções tridimensionais e técnicas imunohistoquímicas, poderão ampliar a compreensão das características estruturais e funcionais do encéfalo da capivara, além de favorecer comparações interespecíficas e aplicações nas áreas de anatomia comparada, neurologia e medicina da conservação.

REFERÊNCIAS

8 REFERÊNCIAS

ALHO, C.; Campos, Z.; Gonçalves.; H. C. Ecologia de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*, rodentia) do Pantanal: I. habitats, densidades e tamanho de grupo. 1987.

ARAÚJO, A. C. P.; OLIVEIRA, J. C. D.; CAMPOS, R. Ramos colaterais do arco aórtico e suas principais ramificações em chinchila (*Chinchilla lanigera*). *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, v. 99, n. 549, p. 53-58, 2004

BAGLEY, R. S.; GAVIN, P. R.; HOLMES, S. P. Veterinary clinical magnetic resonance imaging: diagnosis of intracranial disease. *Practical small animal MRI*, p. 23-122, 2009.

BAVARESCO, A. A atividade física voluntária e seus efeitos sobre a neurogênese hipocampal em roedores adultos. Uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde*, v. 21, n. 1, p. 14-28, 2016.

BEITZ, A.J.; FLETCHER, T. F. The Brain. In: EVANS, H. E. *Miller's anatomy of the dog*. 3.ed. Philadelphia: W. B. Saunders Company Saunders, 1993. Cap.18, p.894-952.

BLAZER, L.; SMITH, A. L.; HENSON, M. Olfactory bulb astrocytes link social transmission of stress to cognitive adaptation in male mice. *Nature Communications*, v. 15, p. 51416, 2024. DOI: 10.1038/s41467-024-51416-4.

BORGES, P. A.; DOMINGUEZ-BELLO, M. G.; HERRERA, E. A. Digestive physiology of wild capybara. *Journal of Comparative Physiology B*, v. 166, n. 1, p. 55-60, 1996.

CAMPOS, G. B.; WELKER, W. I. Comparisons between brains of a large and a small Hystricomorph Rodent: capybara, *Hydrochoerus* and guinea pig, *Cavia*; neocortical projection regions and measurements of brain subdivisions. *Brain, Behavior and Evolution*, v. 13, n. 4, 243-266, 1976.

DA SILVA ALVES, Lidiane et al. Anatomy of the brain of capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) using magnetic resonance imaging. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, v. 53, n. 3, 2024.

DEUTSCH, L.A.; PUGLIA, L.R.R. Os animais silvestres. Rio de Janeiro: Globo, 1988. p.51-60.

FERREIRA, J. D.; DOZO, M. T., de MOURA B, J.; KERBER, L. Morphology and postnatal ontogeny of the cranial endocast and paranasal sinuses of capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), the largest living rodent. *Journal of Morphology*, v. 283, n. 1, p. 66-90, 2022.

FERRAZ, K. M. P. M. B.; MANLY, B.; VERDADE, L. M. The influence of environmental variables on capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*: Rodentia, Hydrochoeridae) detectability in anthropogenic environments of southeastern Brazil. *Population Ecology*, v. 52, p. 263-270, 2010.

FLETCHER, T. F.; BEITZ, A. J. The brain. *Miller's Anatomy of the Dog*, p. 658-707, 2013.

GETTY, R; SISSON, S; GROSSMAN, J. Anatomia dos animais domésticos. In: *Anatomia dos animais domésticos*. 1981. v. 2, cap. 57, p. 1569–1595

HERRERA, E. A.; SALAS, V.; CONGDON, E. R.; CORRIALE, M. J.; TANG MARTÍNEZ, Z. Capybara social structure and dispersal patterns: variations on a theme. *Journal of Mammalogy*, v. 92, n. 1, p. 12-20, 2011.

HERRERA, E. A.; MACDONALD, D. W. Group stability and the structure of a capybara population. *Symposium of the Zoological Society of London*, v. 58, p. 115–130, 1987.

HIRAKAWA, H. Supplement: coprophagy in leporids and other mammalian herbivores. *Mammal, Printed in Great Britain*, v. 32. n. 2. p. 150-152. 2002.

JUNQUEIRA, L. C. U.; CARNEIRO. *Histologia Básica: texto e atlas*. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023.

KANDEL, E. R.; KOESTER, J. D.; MACK, S. H.; SIEGELBAUM, S. A. *Principles of neural science*. 6. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2021.

KÖNIG, H. E.; LIEBICH, H. G. *Anatomia dos animais domésticos*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 501 ,2016.

LORD, R. D. A descriptive account of capybara behaviour. *Studies on neotropical fauna and environment*, v. 29, n. 1, p. 11-22, 1994.

LUNA, L. G. *Manual of Histologic Staining Methods of the Armed Forces Institute of Pathology*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1992.

MACHADO, A. B. M.; HAERTEL, L. M. *Neuroanatomia funcional*. 4. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2022.

MELO, K. G. Efeitos da ingestão de ácido fólico na plasticidade neural em roedores: uma revisão sistemática. 2022. Dissertação (Mestrado em Nutrição, Atividade Física e Plasticidade Fenotípica) – Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, 2022.

- MONES, A.; OJASTI, J. *Hydrochoerus hydrochaeris*. Mammalian Species, v. 264, p. 1–7, 1986.
- MOREIRA, J. R.; ALVAREZ, M. R.; TARIFA, T.; PACHECO, V.; TABER, A.; TIRIRA, D. G.; HERRERA, E. A.; FERRAZ, K. M. P. M. B. Taxonomy, Natural History and Distribution of the Capybara. In: MOREIRA, J. R.; FERRAZ, K. M. P. M. B.; HERRERA, E. A.; MACDONALD, D. W. Capybara: biology, use and conservation of an exceptional neotropical species. New York: Springer, 2013. p. 1-37.
- MORETO, A. O.; OLIVEIRA, F. D.; BERTASSOLI, B. M.; ASSIS, A. C. Morfologia comparada do aparelho respiratório de capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Pesquisa Veterinária Brasileira, v. 37, n. 03, p. 269-277, 2017.
- NIEUWENHUYS, R; TEN DONKELAAR, H J.; NICHOLSON, C. *The central nervous system of vertebrates*. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 3 v., 2214 p
- NOGUEIRA, S. S. C.; NOGUEIRA-FILHO, S. L. G. Capybara behavior and welfare: implications for successful farming practices. Animal Welfare, 2023.
- OJASTI, J. Human exploitation of capybara. In: ROBINSON, J. G.; REDFORD, K. H. (ed.). Neotropical wildlife use and conservation. Chicago: The University of Chicago Press, 1991. p. 236–252.
- PAXINOS, G. The rat nervous system. 4. ed. Amsterdam: Academic Press, 2015.
- PRADA, I. L. S.. Neuroanatomia funcional em medicina veterinária com correlações clínicas . Jaboticabal: Terra Molhada, 2014.
- PAWLINA, W. Histology: a text and atlas: with correlated cell and molecular biology. 8. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2019.

RAKIC, P. Evolução do neocórtex: uma perspectiva da biologia do desenvolvimento. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 10, n. 10, p. 724-735, 2009.

RIBEIRO, P. F. M.; MANGER, P. R.; CATANIA, K. C.; KAAS, J. H.; HERCULANO-HOUZEL, S. Greater addition of neurons to the olfactory bulb than to the cerebral cortex of eulipotyphlans but not rodents, afrotherians or primates. *Frontiers in Neuroanatomy*, v. 8, art. 23, 2014. DOI: 10.3389/fnana.2014.00023.

SASAHARA, T. H.; FONTES, V. F.; GARCIA, D. O.; ROCHA, D. W.; OLIVEIRA, F. S.; LEAL, L. M.; DIAS, F. G. Anatomic study of the arterial vascularization of the brain base of paca (*Cuniculus paca*). *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 40, n. 09, p. 733-737, 2020.

SANTIAGO, L. F.; FREIRE, M. A. M.; PICANÇO-DINIZ, C. W.; FRANCA, J. G.; PEREIRA, A. The organization and connections of second somatosensory cortex in the agouti. *Frontiers in Neuroanatomy*, Lausanne, v. 12, art. 118, 2019. DOI: 10.3389/fnana.2018.00118. 4

SAMUELSON, D. A. *Tratado de histologia veterinária*. Rio de Janeiro: Elsevier, cap. 9, p. 171-198, 2007.

SCHALLER, G. B.; CRAWSHAW JUNIOR, P. G. Social organization in a capybara population. *Säugetierkundliche Mitteilungen*, München, v. 29, n. 1, p. 3-16, 1981.

SQUIRE, L. R.; BERG, D.; BLOOM, F.; DU LAC, S.; GHOSH, A.; SPITZER, N. C. *Fundamental neuroscience*. 4. ed. Amsterdam: Academic Press, 2013.

TEODORO, J. R.; AOKI, C. Effect of temperature and relative humidity on the behavior of Capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) in an urban area. *Oecologia Australis*, v. 23, n. 4, 2019.

VANDERWOLF, C. H.; BAKER, G. B. Social organization and aggression in a group of olfactory bulbectomized male mice. *Physiology & Behavior*, v. 45, n. 4, p. 761–767, 1989. DOI: 10.1016/0031-9384(89)90232-4.

TRABALHO CIENTÍFICO

Histological description of the brain and spinal cord of the capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*)**Abstract**

The capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) is the largest living rodent and has emerged as a valuable species for comparative and translational studies due to its longevity and phylogenetic position among Hystricomorph rodents. Despite its ecological and biomedical relevance, information regarding the microanatomical organization of its central nervous system remains limited. Therefore, this study aimed to describe the histological features of the capybara central nervous system. Brain and spinal cord samples from five adult female capybaras were fixed in formaldehyde, processed routinely for histology, embedded in paraffin, sectioned at 3–7 μm , and stained with hematoxylin and eosin. Histological analysis was performed in a rostrocaudal sequence, including the frontal cortex, striatum, hippocampus, midbrain, cerebellum, and spinal cord. The frontal cortex exhibited the typical laminar organization of gray matter overlying the white matter, whereas the striatum showed neuronal populations dispersed within a dense neuropil without evident lamination. The hippocampus displayed a well-defined cytoarchitecture with distinct pyramidal and granular layers. The midbrain presented a heterogeneous organization composed of neurons, glial cells, blood vessels, and fiber tracts. The cerebellum exhibited the characteristic trilaminar arrangement consisting of the molecular, Purkinje cell, and granular layers. In the spinal cord, the gray matter was centrally located and surrounded by peripheral white matter, with a central canal lined by ependymal cells. Overall, the histological organization observed in the capybara was consistent with the classical pattern described in mammals, demonstrating a high degree of structural conservation. These findings provide a morphological basis for future comparative investigations and contribute to the understanding of aging and neurodegenerative processes in long-lived rodents.

Keywords: Caviomorpha; Central nervous system; Histology; Comparative neuroanatomy; Rodent.

Introduction

The capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) is the largest rodent in the world and is widely distributed throughout South America, occupying a variety of habitats, particularly those associated with water bodies. It inhabits wetlands such as riverbanks, lakes, marshes, and swamps, where it finds abundant food resources and shelter from predators. Capybaras live in social groups that may range from small family units to large, well-structured aggregations, which enhance defense strategies and promote social interactions (Herrera et al., 2011).

The nervous system of rodents, in general, is characterized by its remarkable capacity for adaptation to environmental changes. Neurogenesis may persist throughout life in regions such as the hippocampus, playing an important role in learning and memory (Bavaresco, 2016). Neural plasticity represents a fundamental feature in rodents, as it underlies their ability to adapt and respond to environmental challenges (Melo, 2022). The central nervous system (CNS), particularly the brain, is essential for mediating complex social behaviors, including social organization among individuals and communication through vocalizations and body postures (Alho, 1987).

The brain of the capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), when compared with that of other species, exhibits distinctive characteristics, particularly regarding its vascularization, which shows considerable variation among rodents. It is composed of distinct but functionally integrated brain regions (Fletcher and Beitz, 2013). Therefore, the present study investigate the microscopic anatomy of the capybara central nervous system.

Material and methods

The methodology employed in this study was approved by the Animal Ethics Committee (CEUA) of the School of Veterinary Medicine and Animal Science, São Paulo State University (UNESP), under protocol number 000.257. Five female capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) donated by the Center for Medicine and Research on Wild Animals (CEMPAS) of the School of Veterinary Medicine and Animal Science, UNESP, Botucatu campus, were used.

The animals were fixed by perfusion with 20% formaldehyde solution through the common carotid artery. To ensure adequate fixation, additional intramuscular and intracavitary infiltrations with the same fixative solution were performed. Subsequently, the specimens were placed in containers and maintained immersed in the fixative solution for at least 48 hours prior to dissection.

Following brain removal and sectioning, all specimens were stored in 10% formaldehyde. After fixation, tissue samples from different brain regions were collected for the preparation of histological slides of the central nervous system (CNS). The samples were processed through ascending ethanol series, cleared in xylene, and embedded in paraffin. Serial sections, ranging from 3 to 7 μm in thickness, were obtained using a microtome, according to the protocol described by Luna (1992). The sections were subsequently deparaffinized, rehydrated through descending ethanol series, and stained with hematoxylin and eosin. After staining, the sections were dehydrated, cleared in xylene, and mounted with Permount® mounting medium. Histological images were acquired using a digital camera (Olympus SC30, Olympus®, Japan) attached to a light microscope (Olympus BX41, Olympus®, Japan).

Results

The histological description of the capybara central nervous system was performed following a rostrocaudal sequence and included the frontal cortex, striatum, hippocampus, midbrain, cerebellum, and spinal cord.

Histological analysis of the cerebral cortex revealed the typical organization of the mammalian neocortex, characterized by a superficial molecular layer containing sparse neuronal cell bodies and abundant neuropil, composed predominantly of pyramidal neurons. Neurons exhibited euchromatic nuclei and prominent nucleoli, surrounded by numerous glial cells (Figure 1).

The striatum was composed predominantly of medium-sized neurons dispersed within a homogeneous neuropil and interspersed with glial cells. Neuronal cell bodies exhibited round to oval euchromatic nuclei with prominent nucleoli. No distinct laminar organization was observed, consistent with the characteristic cytoarchitecture of the basal nuclei. Adjacent to the striatum, the wall of the lateral ventricle was lined by a layer of ependymal cells (Figure 1).

The hippocampal formation exhibited a well-defined cytoarchitecture, with distinct cellular and molecular layers. In the hippocampus proper, the pyramidal layer consisted of densely packed pyramidal neurons with large euchromatic nuclei and prominent nucleoli, bordered by the molecular and polymorphic layers (Figure 1).

The midbrain revealed a heterogeneous organization composed of scattered neuronal cell bodies embedded within a dense neuropil and interspersed with glial cells and blood vessels. Neurons exhibited round to oval euchromatic nuclei with prominent nucleoli. Fiber tracts composed of myelinated axons were observed throughout the region (Figure 2)

The cerebellar cortex displayed the typical trilaminar organization, consisting of an outer molecular layer containing sparse neuronal cell bodies and numerous neuronal processes, a single layer of large Purkinje cells with prominent nuclei and nucleoli, and an inner granular layer composed of densely packed granule cells. Beneath the cortex, the cerebellar white matter consisted predominantly of myelinated fibers and scattered glial cells (Figure 2).

The spinal cord exhibited a central canal lined by ependymal cells and a characteristic organization into central gray matter surrounded by peripheral white matter. The gray matter was composed of neuronal cell bodies embedded within a neuropil containing glial cells and blood vessels, whereas the white matter consisted predominantly of bundles of myelinated axons (Figure 2).

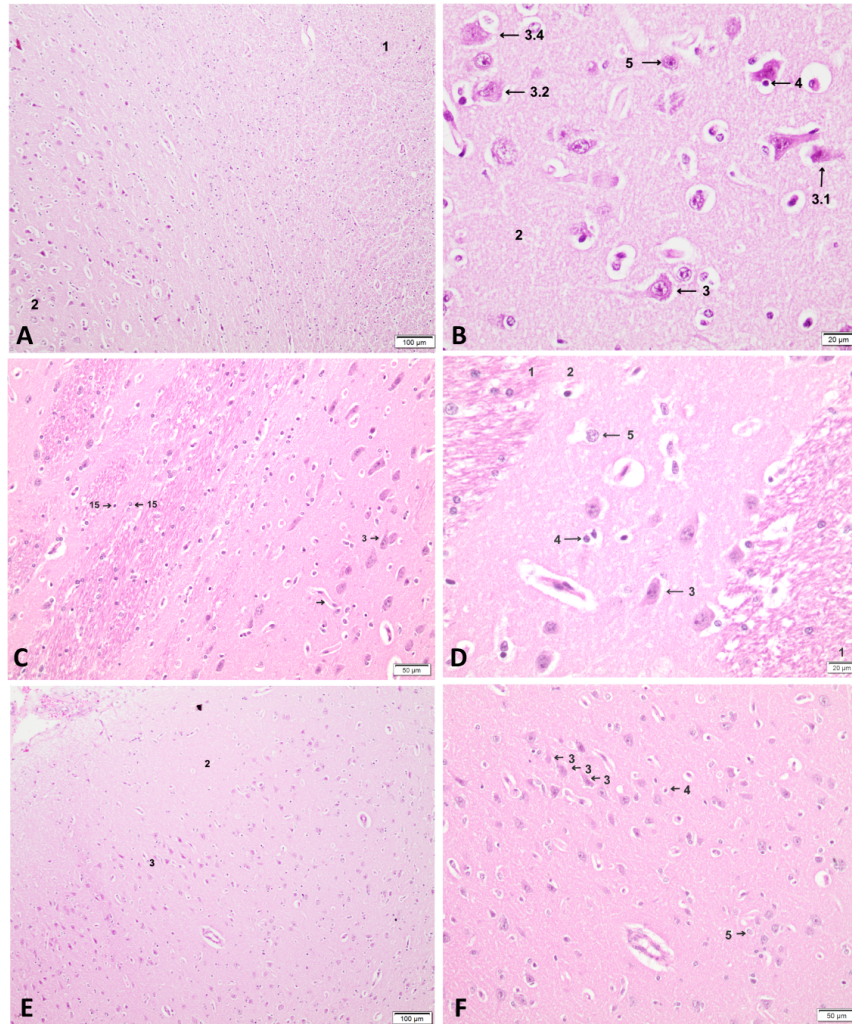


Figure1. Photomicrographs of the central nervous system of the capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). (A) Frontal cortex showing the white matter (1) and gray matter (2). (B) Frontal cortex. Different neuronal types (3) are observed, including pyramidal neurons (3.1), globose neurons (3.2), and bipolar neurons (3.4). Oligodendrocytes (4) and astrocytes (5) are also present. (C) Striatum showing neurons (3) and glial cells (15). (D) Striatum. White matter (1) and gray matter (2), neurons (3), oligodendrocytes (4), astrocytes (5), and ependymal cells (9) lining the ventricular wall are observed. (E) Hippocampus. The hippocampal formation exhibits a distinct cytoarchitecture composed of the molecular layer (2) and the pyramidal cell layer (3), characterized by densely packed pyramidal neurons. (F) High-magnification view of neurons and

glial cells. Hematoxylin and eosin staining. Scale bars: A = 100 μm , B = 20 μm , C = 50 μm , D = 20 μm , E = 100 μm , and F = 50 μm .

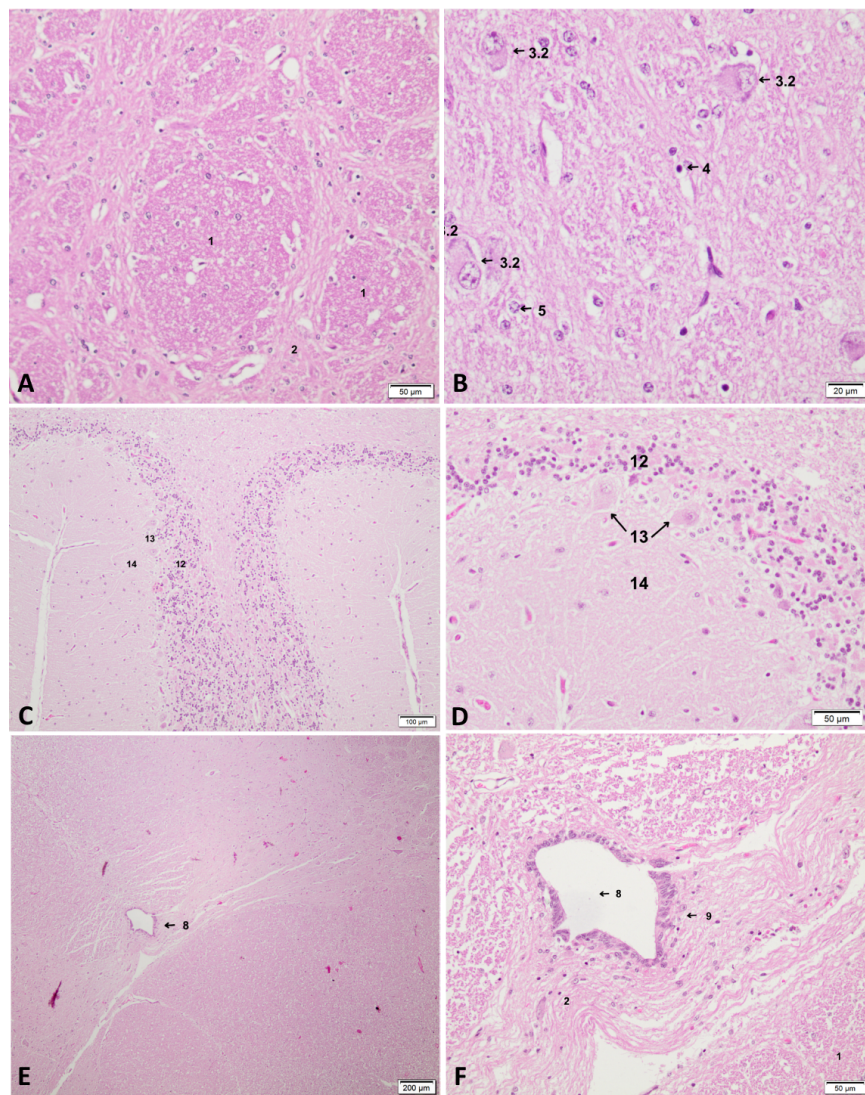


Figure 2. Photomicrographs of the central nervous system of the capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). (A) Midbrain showing clusters of neuronal cell bodies (1) embedded within a dense neuropil and fiber tracts (2). (B) Astrocytes (5) and oligodendrocytes (4) are observed, together

with numerous round neurons (3.2). (C) Cerebellum showing cerebellar folia and blood vessels (7). (D) Cerebellum. Granular layer (12), Purkinje cell layer (13), and molecular layer (14). (E) Spinal cord. Gray matter (2) and adjacent white matter (1). The central canal (9) is observed in the center, lined by ependymal cells (10). Hematoxylin and eosin staining. Scale bars: A = 50 μm , B = 20 μm , C = 100 μm , D = 50 μm , and E = 200 μm .

Discussion

The histological organization of the capybara central nervous system was consistent with the general pattern described for mammals, demonstrating a conserved cytoarchitecture across different regions. The frontal cortex exhibited a laminar arrangement of gray matter overlying the white matter, similar to that reported in rodents and other mammalian species (Nieuwenhuys et al., 1998; Purves et al., 2018). The presence of pyramidal and other neuronal types distributed within the cortical layers reflects the structural complexity required for sensory integration, motor control, and higher cognitive functions.

The striatum displayed the typical organization of the basal nuclei, characterized by the absence of a laminar arrangement and the predominance of neurons dispersed within a dense neuropil. Similar findings have been reported in other rodents, in which the caudoputamen represents the largest component of the dorsal striatum and is composed predominantly of medium spiny neurons embedded within a matrix rich in glial cells and neuronal processes (Paxinos, 2015). The presence of ependymal cells adjacent to the lateral ventricle further emphasizes the close anatomical relationship between the striatum and the ventricular system.

The hippocampal formation exhibited a well-defined cytoarchitecture, with clearly distinguishable pyramidal and granular layers. This organization resembles that described in other mammalian species and is closely associated with learning and memory functions. The preservation of these histological features reinforces the high degree of evolutionary conservation of the hippocampal circuitry among mammals (Purves et al., 2018; Herculano-Houzel, 2016).

Histological examination of the midbrain revealed a heterogeneous arrangement of neuronal cell bodies, glial cells, blood vessels, and fiber tracts, consistent with the sensory and motor integrative functions attributed to this region. The presence of abundant vascularization and neuronal populations embedded within a dense neuropil is in agreement with descriptions reported for other mammalian species (Nieuwenhuys et al., 1998).

The cerebellum exhibited the classical trilaminar organization composed of the molecular layer, Purkinje cell layer, and granular layer. This arrangement has been widely described in mammals and reflects the highly conserved architecture responsible for the modulation and coordination of motor activity (Pawlina, 2019). Likewise, the spinal cord showed the characteristic distribution of centrally located gray matter surrounded by peripheral white matter, with the central canal lined by ependymal cells and the presence of numerous glial cells and multipolar neurons in the ventral horns, in accordance with previous descriptions in domestic and wild mammals (Junqueira and Carneiro, 2023).

Conclusion

The histological features observed in the capybara demonstrate a remarkable similarity to those described in other mammalian species, suggesting that the microstructural organization of the central nervous system has remained highly conserved throughout evolution. Considering the longevity and ecological adaptations of *Hydrochoerus hydrochaeris*, these findings provide a morphological basis for future comparative studies involving neurodevelopment, aging, and neurodegenerative processes in long-lived rodents.

References

- ALHO, C.; Campos, Z.; Gonçalves, H. C. Ecologia de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*, rodentia) do Pantanal: I. habitats, densidades e tamanho de grupo. 1987.
- BAVARESCO, Anelise. A atividade física voluntária e seus efeitos sobre a neurogênese hipocampal em roedores adultos. Uma revisão de literatura. Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde, v. 21, n. 1, p. 14-28, 2016.
- HERCULANO-HOUZEL, Suzana. The human advantage: a new understanding of how our brain became remarkable. Cambridge: MIT Press, 2016.
- HERRERA, Emilio A.; SALAS, V.; CONGDON, E. R.; CORRIALE, M. J.; TANG MARTÍNEZ, Z. Capybara social structure and dispersal patterns: variations on a theme. Journal of Mammalogy, v. 92, n. 1, p. 12-20, 2011.
- FLETCHER, T. F.; BEITZ, A. J. The brain. In: EVANS, H. E.; DE LAHUNTA, A. (ed.). Miller's anatomy of the dog. 4. ed. St. Louis: Elsevier Saunders, 2013. p. 658–707.
- JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchoa; CARNEIRO, José. Histologia básica: texto e atlas. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023.

LUNA, L. G. Manual of Histologic Staining Methods of the Armed Forces Institute of Pathology. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1992.

MELO, K. G. Efeitos da ingestão de ácido fólico na plasticidade neural em roedores: uma revisão sistemática. 2022. Dissertação (Mestrado em Nutrição, Atividade Física e Plasticidade Fenotípica) – Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, 2022.

NIEUWENHUYS, Rudolf; TEN DONKELAAR, H. J.; NICHOLSON, Charles. The central nervous system of vertebrates. Berlin: Springer, 1998. 3 v.

PAXINOS, George. The rat nervous system. 4. ed. Amsterdam: Academic Press, 2015.

PAWLINA, Wojciech. Histology: a text and atlas: with correlated cell and molecular biology. 8. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2019.

PURVES, Dale et al. Neuroscience. 6. ed. New York: Oxford University Press, 2018.