UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE VETERINÁRIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

ANÁLISE ANATOMO-FUNCIONAL DOS MÚSCULOS DO ANTEBRAÇO E A CITOARQUITETURA DO NEOCÓRTEX OCCIPITAL DE *Cebus libidinosus*

Yandra Cássia Lobato do Prado

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Gonçalves de Araújo

GOIÂNIA

2010

UFG

sibi sistema de bibliotecas ufg

Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TE-DE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás–UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☐ **Dissertação** ☒ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor: **Yandra Cassia Lobato do Prado** E-mail: **yandraprado@yahoo.com.br**

Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? ☒ Sim ☐ Não

Vínculo Empregatício do autor: Agência de fomento: CAPES

País: UF: CNPJ: Sigla:

Título: Análise anatomo-funcional dos músculos do antebraço e a citoarquitetura do neocórtex occipital de Cebus libidinosus Palavras-chave: **cognição, córtex visual, Golgi-Cox, músculos extensores, primatas não-humanos, uso de ferramentas**

Título em outra língua: **Anatomo-functional analyse of the forearm muscles and the cytoarchitecture of the occipital neocórtex of Cebus libidinosus**

Palavras-chave em outra língua: **cognition, extensor muscles, Golgi-Cox, nonhuman primates, tool-use, visual cortex**

Área de concentração: **Patologia, clínica e cirurgia** Data defesa: (dd/mm/aaaa) **10/06/2010**

Programa de Pós-Graduação:**Programa de Pós-graduação em Ciência Animal**

Orientador(a):**Prof. Dr. Eugênio Gonçalves de Araújo** E-mail: **earaujo@vet.ufg.br**

Co-orientador(1): **Prof. Dr. Tales Alexandre Aversi Ferreira** E-mail: aversiferreira@hotmail.com

Co-orientador(2): **Prof. Dr. Adilson Donizeti Damasceno** E-mail: **addamasceno@vet.ufg.br**

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização?[1] ☒ total ☐ parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

[ ] Capítulos. Especifique:

[ ] Outras restrições:

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Goiânia 5 de agosto de 2010

Yandra Cassia Lobato do Prado

Assinatura do(a) autor(a)

[1] Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

YANDRA CÁSSIA LOBATO DO PRADO

ANÁLISE ANATOMO-FUNCIONAL DOS MÚSCULOS DO ANTEBRAÇO E A CITOARQUITETURA DO NEOCÓRTEX OCCIPITAL DE *Cebus libidinosus*

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal junto à Escola de Veterinária da Universidade Federal de Goiás

Área de concentração:

Patologia, Clínica e Cirurgia

Orientador:

Prof. Dr. Eugênio Gonçalves de Araújo – EV-UFG

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Tales Alexandre Aversi Ferreira – UFG-CAC

Prof. Dr. Adilson Donizeti Damasceno – EV-UFG

Goiânia

2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG

Prado, Yandra Cassia Lobato do.
P896a Análise anatomo-funcional dos músculos do antebraço e a citoarquitetura do neocórtex occipital de *Cebus libidinosus* [manuscrito] / Yandra Cassia Lobato do Prado. – 2010.
86 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Gonçalves de Araújo; Co-orientadores: Prof. Dr. Tales Alexandre Aversi Ferreira, Prof. Dr. Adilson Donizeti Damasceno.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária, 2010.
Bibliografia.

1. Primatas não-humanos - cognição 2. Anatomia antebraço. 3. Córtex occipital. I. Título.

CDU: 599.8:591.4

YANDRA CÁSSIA LOBATO DO PRADO

Tese defendida e aprovada em **10/06/2010** pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Eugênio Gonçalves de Araújo
(ORIENTADOR (A))

Profa. Dra. Jussara Rocha Ferreira - UnB/DF

Prof. Dr. Júlio Roquete Cardoso - ICB/UFG

Profa. Dra. Luciana Batalha de Miranda - EV/UFG (Memória)

Prof. Dr. Edson José Benetti - ICB/UFG

A minha avó Dinorá (in memorian), exemplo de amor.

Aos meus queridos filhos, Guilherme e Eduardo, gerados, nascidos e crescendo em meio ao turbilhão de minhas escolhas.

Ao Sullivam, meu companheiro fiel e amado, e o melhor pai para nossos meninos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus que, em nos proporcionando a alma, nos dá a chance de conduzi-la a evolução nesta e em outras vidas. Depende de nós como chegaremos lá (é o que entendemos como “livre-arbítrio”).

Ao Professor Dr. Eugênio Gonçalves de Araújo pelo aceite e empenho na orientação desta tese, pelas palavras certas nas horas exatas!

Ao Professor Dr. Tales Alexandre Aversi Ferreira, pela orientação e contribuição intelectual a este trabalho.

Aos meus familiares pela ajuda nos momentos de desânimo, em especial a Antônia Miranda de Sousa e Vicente Pinto de Sousa, pelo cuidado e carinho com meus filhos, e o afeto incondicional por mim.

Ao amigo Jarbas Pereira de Paula pelo companheirismo nesta e outras jornadas em que, persistentes, estivemos nos apoiando.

Às amigas, Luciana Batalha de Miranda, Marina Miguel Pacheco e Cintia Minafra pelo estreitamento e fortalecimento da amizade sincera.

A todos os estagiários e colaboradores dos laboratórios NECOP e LABINE, em especial a Danielly Bandeira e Guilherme Nobre do Nascimento, que colaboraram direta ou indiretamente com este projeto.

Ao IBAMA e CETAS-GO, na pessoa de Leo Caetano, que muito contribuiu para o desenvolvimento do projeto, cedendo alguns dos animais do estudo.

Ao Professor Dr. Adilson Donizeti Damasceno pela confiança declarada.

Aos professores e funcionários do Setor de Patologia Animal da Escola de Veterinária, que dispuseram tempo e atenção carinhosamente a mim.

À CAPES pelo apoio financeiro que permitiu essencialmente a dedicação e conclusão desta tese.

Ao meu orientador do mestrado Professor Dr. Firmino Marsico Filho (*in memorian*) que deixou sua impressão pessoal e profissional, tal como exemplo a ser seguido.

Finalmente, o meu respeito aos primatas não-humanos que, ao longo de suas vidas, cederam sua fascinante essência evolucionária para o desvendamento científico, e assim continuarão!

Compreendemos o efeito, já é muito; do efeito
remontamos à causa, e julgamos a sua grandeza pela grandeza do efeito;
mas a sua essência íntima nos escapa, igual a da causa
de uma multidão de fenômenos... Diante desses problemas insondáveis
a nossa razão deve se humilhar. Deus existe... É sua essência manifestando-se.
Allan Kardec (A Gênese)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Considerações iniciais..... 1

1.1 Evolução da cognição de primatas..... 1

1.2 O gênero *Cebus*..... 3

1.3 Uso de ferramentas e sua relação com a cognição de primatas..... 6

1.4 Morfofisiologia do neocórtex de primatas..... 8

1.5 Referências..... 16

CAPÍTULO 2 – Descrição anatômica dos músculos extensores do antebraço associados com cognição e uso de ferramentas em *Cebus libidinosus*..... 24

RESUMO..... 24

ABSTRACT..... 24

INTRODUÇÃO..... 25

MATERIAL E MÉTODOS..... 27

Amostras..... 27

Preparação dos animais..... 27

Dissecação e documentação..... 27

RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 28

Músculos extensores superficiais..... 28

Músculos extensores profundos..... 33

Anatomia e aspectos comportamentais e cognitivos de Cebus spp..... 40

CONCLUSÃO..... 41

REFERÊNCIAS..... 41

CAPÍTULO 3 – Citoarquitetura do neocórtex occipital de *Cebus libidinosus*... 45

RESUMO..... 45

ABSTRACT..... 45

INTRODUÇÃO..... 46

MATERIAL E MÉTODOS..... 48

Amostras..... 48

Dissecação e processamento histológico..... 48

Análises qualitativa e quantitativa dos neurônios..... 50

RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 50

Análise qualitativa..... 50

Análise quantitativa..... 54

CONCLUSÃO..... 57

REFERÊNCIAS..... 58

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 62

ANEXO..... 64

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 Curso evolucionário hipotético da cognição primata..... 2

Figura 2 Representação das áreas de Brodmann da face convexa do cérebro humano..... 10

Figura 3 Esquemas comparativos dos principais sulcos dos cérebros de *Cebus libidinosus* e babuínos (*Papio*)..... 12

Figura 4 Representação da citoarquitetura e disposição em seis camadas do neocórtex humano por diferentes métodos de coloração (Coloração de Golgi, Nissl e Weighert) 13

CAPÍTULO 2

Figura 1 Aspecto posterior do antebraço direito de *C. libidinosus* mostrando os músculos extensores superficiais..... 29

Figura 2 Aspecto póstero-medial do dorso da mão esquerda de C. libidinosus mostrando os tendões dos músculos extensores superficiais..... 30

Figura 3 Aspecto posterior do dorso da mão direita de *C. libidinosus*..... 34

Figura 4 Aspecto látero-posterior do antebraço direito de *C. libidinosus* evidenciando os tendões dos músculos extensores do polegar..... 34

Figura 5 Aspecto látero-anterior da mão direita de *C. libidinosus* evidenciando a bifurcação do tendão de inserção distal do m. extensor longo do polegar para as bases das falanges proximal e distal do polegar..... 35

CAPÍTULO 3

Figura 1 Hemisférios cerebrais de *C. libidinosus*..... 49

Figura 2 Fotomicrografia de neocórtex occipital de *Cebus libidinosus* indicando as seis camadas..... 51

Figura 3 Fotomicrografia de neocórtex occipital de *C. libidinosus* evidenciando corpos de neurônios granulares, neurônios piramidais e estrias de Baillarger..... 52

Figura 4 Fotomicrografias de neocórtex occipital de *C. libidinosus* mostrando as diferentes morfologias de neurônios..... 52

Figura 5 Fotomicrografia de neocórtex occipital de *C. libidinosus* demonstrando a disposição das fibras transversais (estrias de Baillarger) na camada IV..... 53

Figura 6 Fotomicrografia de neocórtex occipital de *C. libidinosus*..... 56

ANEXO

Figura 1 Aspecto anterior do antebraço direito de um *C. libidinosus* mostrando os músculos flexores superficiais..... 65

Figura 2 Aspecto anterior do antebraço direito de um *C. libidinosus* mostrando o m. pronador quadrado..... 68

Figura 3 Aspecto anterior do antebraço direito de um *C. libidinosus* mostrando os músculos flexores profundos..... 69

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

Quadro 1 Localização anatômica e respectivas funções das áreas de Brodmann, ilustradas na Figura 3..... 10

CAPÍTULO 2

Quadro 1 Análise comparativa dos músculos extensores superficiais do antebraço entre *C. libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*)..... 38

Quadro 2 Análise comparativa dos músculos extensores profundos do antebraço entre *C. libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*)..... 39

ANEXO

Quadro 1 Análise comparativa dos músculos flexores superficiais do antebraço entre *C. libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*)..... 66

Quadro 2 Análise comparativa dos músculos flexores profundos do antebraço entre *C. libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*)..... 67

LISTA DE ABREVIATURAS

a.	Artéria
CAC	Campus Avançado Catalão
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CETAS-GO	Centro de Triagem de Animais Silvestres – Goiás
COBEA	Colégio Brasileiro de Experimentação Animal
CoEP-UFG	Comitê de Ética em Pesquisa da UFG
EV	Escola de Veterinária
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LABINE	Laboratório de Bioquímica e Neurociência
m.	Músculo
n.	Nervo
NECOP	Laboratório de Neurociência e Comportamento de Primatas
UFG	Universidade Federal de Goiás

RESUMO

Os primatas são caracterizados pelo maior tamanho do cérebro, pelo aprimoramento de habilidades manipulativas e cognitivas e desenvolvimento de comportamento social complexo. Muitos estudos têm sido realizados com os primatas neotropicais do gênero *Cebus*, conhecidos por macaco-prego, relativos a comportamento e uso de ferramentas, índice de encefalização e memória. Esses estudos se justificam em razão desses primatas apresentarem elevada capacidade cognitiva e outras características biológicas que os torna similares aos primatas do Velho Mundo. A presente tese gerou a produção de dois artigos. O primeiro intitulado "Descrição anatômica dos músculos extensores do antebraço de *Cebus libidinosus* associada a aspectos cognitivos e ao uso de ferramentas", propôs-se a análise comparativa entre a anatomia muscular do antebraço com àquela de outros primatas que, individual ou conjuntamente, atuam nas mãos possibilitando movimentos mais ou menos especializados dos dedos, relacionando-se ao uso de ferramentas e aspectos cognitivos de *Cebus* spp. descritos na literatura. Observaram-se evidentes similaridades entre os músculos extensores de *C. libidinosus* com os músculos correspondentes em humanos e chimpanzés, porém houve diferenças desses músculos em relação aos babuínos. A estrutura e diferenciação dos músculos do antebraço do *Cebus* spp., associados ao seu já conhecido índice de encefalização, reforçam a associação entre suas habilidades manuais e os aspectos cognitivos e comportamentais em primatas. O segundo artigo intitulado "Citoarquitetura do neocórtex occipital de *Cebus libidinosus*" propôs-se a análise da citoarquitetura do córtex cerebral occipital utilizando a técnica de Golgi-Cox, sob os aspectos qualitativos e quantitativos que esta técnica de impregnação de neurônios proporciona e, compará-los com dados descritos na literatura. No neocórtex occipital estão situadas as áreas visuais primárias e secundárias e, em *C. libidinosus*, a organização histológica destas áreas apresenta, tal como em outros primatas não-humanos e o homem, a predominância de neurônios granulares e a presença de estrias de Baillarger na quarta camada. O emprego da técnica de Golgi-Cox permitiu a visualização individual dos neurônios e seus prolongamentos, entretanto quanto à análise quantitativa apresenta como limitação a dificuldade em diferenciar células neuronais e não-neuronais. Estes dados permitirão futuras comparações entre diferentes áreas corticais de *Cebus* spp. e outros primatas. Com o intuito de contribuir com as bases dos estudos relacionados à evolução da cognição de primatas, este trabalho relacionou a morfologia, tal como ciência que é, com as inúmeras observações sobre comportamento do macaco-prego. A abordagem comparativa no estudo da morfologia músculo-esquelética e do aparato neural do *C. libidinosus* permitirá inferir dados às áreas da ciência cognitiva e áreas correlatas.

Palavras-chave: cognição, córtex visual, Golgi-Cox, músculos extensores, primatas não-humanos, uso de ferramentas

ABSTRACT

Primates are known for larger brain size, enhanced handling and cognitive abilities and increasingly complex social behavior. Many studies have been conducted with the neotropical primates of the genus *Cebus*, known as capuchin monkey, regarding their behavior, tool use, encephalization index and memory. These studies are justified because these primates present high cognitive faculty and other biological characteristics that make them similar to Old World primates. This thesis rendered possible the production of two articles. The first one is entitled “Anatomical description of the extensor muscles of the forearm associated with cognition and tool use in *Cebus libidinosus*”. In this article, a comparative analysis between the anatomy of the forearm muscle of this genus and that the one of other primates that, individually or jointly, act in the hands allowing more or less specialized movements of the fingers, relating them to the use of tools and to the cognitive aspects of *Cebus* spp. described in the literature. There were evident similarities between the extensor muscles in *C. libidinosus* primates and the correspondent muscles in humans and chimpanzees; however, there were differences when compared to baboons. The structure and differentiation of the forearm muscles of *Cebus* spp., together with its previously known encephalization index, corroborate the association between its manual ability and cognitive and behavioral aspects in primates. The second article is entitled "Cytoarchitecture of the occipital neocortex of *Cebus libidinosus*”. Its purpose was to analyze the cytoarchitecture of the occipital cortex using the technique of Golgi-Cox, the qualitative and quantitative aspects provided by this technique of impregnation of neurons, and to compare them with data from the literature. Primary and secondary visual areas are located in the occipital neocortex, and in *C. libidinosus*, the histological organization of these areas is similar to humans and other primates and it is characterized by the predominance of granular neurons and the presence of transversal fibers in the fourth layer. Although the Golgi-Cox method allowed individual observation of neurons and their extensions, the weak distinction between neurons and glial cells impaired neuron counting. These data, nevertheless, will grant further cell density comparison of other cortical areas between *Cebus* spp. and other primates. Aiming to contribute to the foundations of studies related to the evolution of primate cognition, this study related morphology, as a science, to the numerous observations on the behavior of capuchin monkeys. The comparative approach to study the morphology of the musculoskeletal and neural apparatus of *C. libidinosus* will allow data inference in areas of cognitive science and related areas.

Key-words: cognition, extensor muscles, Golgi-Cox, nonhuman primates, tool-use, visual cortex

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Evolução da cognição de primatas

Os primatas surgiram há mais de 60 milhões de anos e constituem uma ordem que se distingue, dentre outros aspectos, pela grande flexibilidade de comportamento dos indivíduos (TOMASELLO, 2001). Os primatas são caracterizados pelo maior tamanho do cérebro, pelo aprimoramento de habilidades manipulativas e cognitivas e pelo comportamento social complexo. Estas peculiaridades influenciam a maneira na qual os indivíduos codificam e usam a informação na tomada de decisões e evoluíram principalmente com a associação de alterações no sistema visual e expansão do córtex cerebral (MARTIN, 1990).

Em linhas gerais, o aumento do tamanho do cérebro nos primatas, fenômeno denominado “encefalização”, evoluiu de tal forma que, provavelmente, teve um efeito significante na integralização de informações, como tomar decisões cotidianas, tais como: quando e onde procurar comida, ou migrar para obtê-la, quando estar vigilante, que indivíduos do grupo tolerar ou rejeitar. Da mesma forma, essa evolução permitiu o desenvolvimento de estratégias comportamentais associadas com competição, formação de alianças e cooperação, ou seja, comportamentos sociais mais complexos (MARTIN, 1990).

Estudos sobre comportamento animal têm ganhado ênfase nos últimos anos, não só em virtude da necessidade do conhecimento das facetas do comportamento do animal, mas também pelas contribuições que estes estudos oferecem para o entendimento da cognição humana (CHENEY & SEYFARTH, 1999; TOMASELLO, 1999; TOMASELLO, 2001; HAUSER et al., 2002).

Entende-se por cognição todas as atividades mentais relacionadas ao pensamento, à imaginação, à lembrança e à solução de problemas (JOHNSON, 2001). O estudo comparativo da cognição em primatas deve contemplar aspectos importantes, como a documentação das habilidades cognitivas segundo sua evolução e funcionamento, além de situar a cognição de espécies particulares, incluindo a espécie humana, no contexto evolutivo (TOMASELLO, 1999).

Os primeiros primatas não eram cognitivamente distinguíveis da maioria de outros mamíferos (BYRNE, 2000). Todavia, há cerca de 30 milhões de anos, um ramo de seus descendentes tornou-se mais rápido na aprendizagem - uma adaptação que requereu um tamanho cerebral substancialmente maior em relação ao tamanho do corpo. Esta população ancestral favoreceu todos os símios modernos: macacos do Velho Mundo e do Novo Mundo (que inclui o gênero *Cebus*) e os chamados "grandes símios" (gorilas, chimpanzés e orangotangos), incluindo o homem. Subseqüentemente, um ancestral específico para os grandes símios e o homem desenvolveu a habilidade para entender conexões causais entre objetos, ações e eventos, o estado mental de outros indivíduos e a organização hierárquica do comportamento. Esses aspectos que, conjuntamente, caracterizaram a "representação mental", são observados somente em primatas modernos (Figura 1) (BYRNE, 2000).

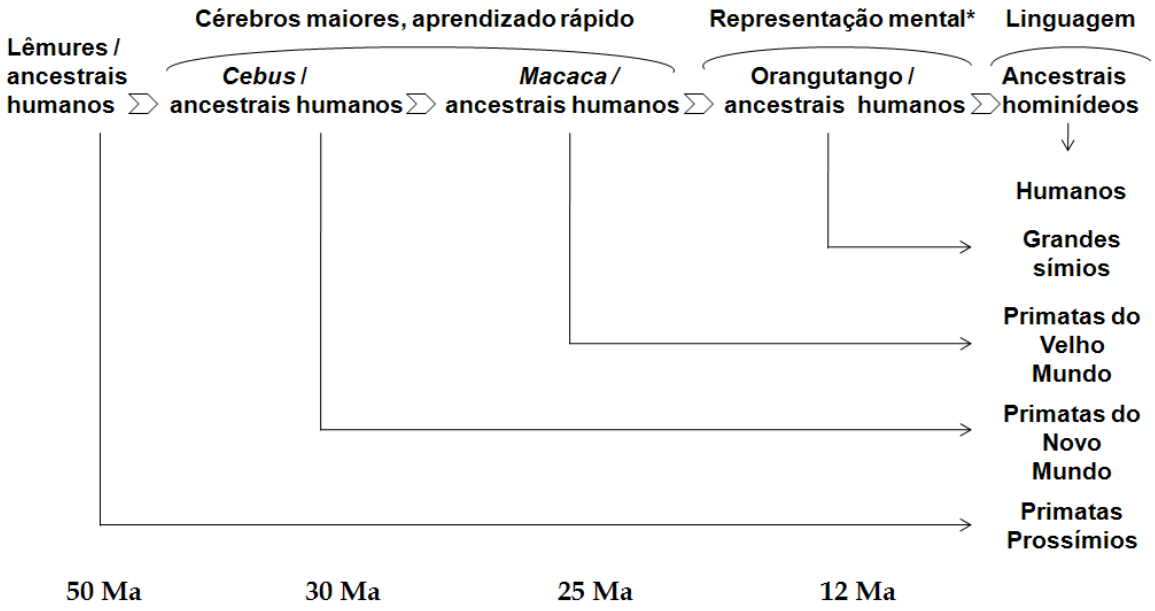

FIGURA 1 – Curso evolucionário hipotético da cognição primata. *Refere-se à habilidade para entender conexões causais entre objetos, ações e eventos, o estado mental de outros indivíduos e a organização hierárquica do comportamento. Ma: milhões de anos (Fonte: adaptado de BYRNE, 2000)

A etologia cognitiva apresenta muitas evidências da complexidade social dos primatas. Esta sociedade é estruturada de forma hierárquica, com base numa rede sofisticada de relações intra-grupo, que garante coesão, dominância, subordinação e suporte (LACAZ, 2007).

1.2 O gênero *Cebus*

Os primatas do gênero *Cebus*, conhecidos vulgarmente como macacos-prego (nome derivado do formato de sua glande), são primatas neotropicais de fácil reprodução em cativeiro, com vasta distribuição no continente sul-americano, encontrado nas regiões que vão da Colômbia à Venezuela, do nordeste ao sudeste do Brasil, passando do bioma cerrado até a caatinga, estando presentes na maioria dos estados brasileiros e no norte da Argentina (LOPES, 2004).

Na natureza, vivem em grupos de até 30 indivíduos constituídos na sua maioria por fêmeas, apresentando quase sempre um ou dois machos dominantes (AURICCHIO, 1995). Além disso, são considerados muito cognitivos, apresentam grande habilidade motora, usam as mãos para deslocamento e forrageamento e demonstram alta capacidade de manuseio de ferramentas para a obtenção de alimentos e diversão, sendo tais atividades observadas tanto em vida livre como em cativeiro (TOTH et al., 1993; BRESEIDA & OTTONI, 2001; RESENDE & OTTONI, 2002).

As denominações das espécies do gênero *Cebus*, criadas por Erxleben em 1777, sofreram modificações taxonômicas por Elliot em 1913, que considerou, entre outros aspectos, as diferenças entre jovens e adultos, diferenças ambientais e de coloração da pelagem dos indivíduos (RYLANDS et al., 2000). Com base em vários estudos sobre taxonomia, RYLANDS et al. (2000) consideraram fatores filogenéticos, morfológicos, moleculares, comportamentais e regionais como pressupostos para a classificação desse gênero e, para a espécie *Cebus libidinosus* (*C. libidinosus*), antes designado como *Cebus apella libidinosus*, foi proposto o nome, devido, também, às características comportamentais sexuais desses animais.

O *C. libidinosus*, assim como as outras espécies do gênero, apresentam cauda semi-preênsil, que o auxilia no deslocamento arborícola e sustentação do corpo quando em posição bípede, permanecendo a maior parte do tempo no estrato médio das árvores em ambientes florestais, descendo ao solo para forragear (SANTINI, 1983).

O *Cebus* spp. tem sido usado como modelo para vários estudos sobre comportamento, memória, ecologia, fisiologia e bioquímica (ANTINUCCI & VISALBERGHI, 1986; GARBER, 1987; WESTERGAARD & FRAGASZY, 1987; COSTELLO & FRAGASZY, 1988; AURICCHIO, 1995; PAIVA, 1998; BRESEIDA & OTTONI, 2001; RESENDE & OTTONI, 2002; TAVARES & TOMAZ, 2002; LIMA et al., 2003; LOPES, 2004; WAGA et al., 2006), mas o conhecimento da morfologia macro e microscópica do gênero é ainda incipiente (AVERSI-FERREIRA, 2009). No entanto, este último é fundamental para a condução de estudos etológicos, evolucionários, taxonômicos (RYLANDS et al., 2000) e preservação do *Cebus* (BARROS et al., 2003).

De acordo com AURICCHIO (1995), a grande atenção voltada para os primatas se deve às suas semelhanças anatômicas, fisiológicas e etológicas com o homem, semelhanças estas que qualificam tais animais como modelos para testes de fármacos que posteriormente poderão ser aplicados em humanos.

Estudos paleontológicos têm revelado mudanças nas estruturas anatômicas associadas à evolução dos primatas (TOBIAS, 1995; HOLLOWAY, 1973, 1995), fato observado também, em estudos sobre anatomia comparativa entre o *Cebus* e outros macacos neotropicais ou do Velho Mundo (RIBEIRO, 2002; AVERSI-FERREIRA et al., 2005a, 2005b, 2006).

A análise comparativa comportamental dos primatas modernos, associada com os troncos filogenéticos derivados do cladismo, gera importância considerável para o entendimento da história recente da evolução cognitiva humana (BYRNE, 2000), principalmente associada com os primatas não-humanos do Velho Mundo. Neste aspecto, os estudos recentes sobre aprendizagem e memória dos *Cebus apella* demonstram sua inserção neste contexto, pois segundo RESENDE et al. (2003), humanos, *Cebus* ssp. e primatas do Velho Mundo apresentam a mesma estrutura neural básica para testes de memória (TAVARES & TOMAZ, 2002) e aprendizado, indicando uma

convergência filogenética e comportamental idênticas dessas espécies ao longo do tempo.

As pesquisas sobre comportamento, memória, uso de ferramentas e índice de encefalização têm colocado o *Cebus* spp. próximo aos chimpanzés sob esses mesmos aspectos. Porém, estudos pormenorizados, considerando os aspectos morfológico-evolutivos em comum que nortearam o desenvolvimento filogenético dos primatas, precisam ser realizados com o gênero *Cebus*, devido, principalmente, às últimas descobertas sobre seus aspectos neurofisiológicos e comportamentais, como a tolerância em relação aos outros indivíduos do grupo, uma característica acentuada em macacos-prego (IZAWA, 1980), que é um importante facilitador da aprendizagem social por realce de estímulo (*stimulus enhancement*).

Esse grau de tolerância entre os indivíduos envolvidos, ao influenciar as distâncias inter-individuais, segundo COUSSI-KORBEL & FRAGASZY (1995) estabelece limites para o grau de detalhe em que a observação do comportamento do modelo é possível e, conseqüentemente, quais aspectos do comportamento podem ser efetivamente aprendidos por observação. Em outras palavras, o “grau de detalhe” de determinado aprendizado será mais efetivo se o indivíduo adulto permitir a aproximação do mais jovem (IZAWA, 1980).

Descrições de AVERSI-FERREIRA et al. (2005a, 2005b, 2006, 2007a, 2007b) demonstraram características particulares sobre a evolução dos *C. libidinosus* em termos de convergência adaptativa para a locomoção e manipulação, pois os músculos do ombro e braço destes animais apresentam maior semelhança morfológica de origem e inserção com babuínos em relação aos chimpanzés; no entanto, a musculatura flexora do antebraço é mais semelhante aos dos últimos.

Os *C. libidinosus* utilizam intensamente os membros torácicos como meio de deslocamento entre as árvores (AVERSI-FERREIRA et al., 2005a), o que exige uma maior força no fechar das mãos para mantê-los pendurados durante longo período. Este movimento envolve os músculos flexores longos para os dedos, músculos intrínsecos na palma da mão e os extensores do pulso, além dos músculos do braço e ombro que sustentam o peso do animal.

1.3 Uso de ferramentas e sua relação com a cognição de primatas

O termo “uso de ferramentas” (*tool use*) por primatas não-humanos refere-se ao emprego de um objeto livre no ambiente para alterar com maior eficiência a forma, a posição ou a condição de outro objeto. Também é utilizado quando um indivíduo carrega a ferramenta antes ou durante o seu uso e, dessa forma, é responsável pela orientação apropriada e eficaz da mesma (BYRNE, 2004).

A habilidade manual associada ao uso de ferramentas é um importante aspecto da existência humana. Em outras palavras, a destreza manual ao manipular alimentos ou usar ferramentas e outros objetos assumiu um papel central na causa da origem evolucionária humana (BYRNE, 2000).

A destreza observada em apoiar um coco numa pedra e usar outra para abri-lo é um comportamento bem descrito em alguns dos primatas não-humanos do Velho Mundo, mas até agora, somente em primatas neotropicais do gênero *Cebus*. Essa observação refere-se ao uso de ferramentas na sua forma mais complexa, ou seja, àquela em que há envolvimento de duas relações espaciais, uma entre o coco e o batente e outra, entre a ferramenta e o coco (MORIMURA & MATSUZAWA, 2001; FRAGASZY et al. 2004). No entanto, a hipótese sobre o substrato neural envolvido no controle manual fino necessário para estes comportamentos permanece desconhecida (PADBERG et al., 2007).

Os chimpanzés demonstraram sua capacidade de uso de ferramentas e sua construção inteligente em diversas ocasiões, tanto em ambiente selvagem, quanto em cativeiro (TOMASELLO et al., 1989; BOESCH & BOESCH, 1990; BOESCH-ACKERMAN & BOESCH, 1993; GEN & SUGIYAMA, 1995; LIMONGELLI et al., 1995; INOUE-NAKAMURA & MATSUZAWA, 1997; MORIMURA & MATSUZAWA, 2001; HUMLE & MATSUZAWA, 2002). Eles podem construir e usar lança para caçar em arbustos pequenos (PRUETZ & BERTOLANI, 2007) e são capazes de reconhecer o significado das características exigidas para que uma ferramenta particular funcione efetivamente (KITAHARA-FRISCH & NORIKOSHI, 1982; BOESCH, 1995; LIMONGELLI et al. 1995; HIRATA & MORIMURA, 2000; MORIMURA & MATSUZAWA, 2001; CELLI et al., 2003).

Observações e análises de animais em cativeiro, liberdade e semi-liberdade mostram que a eficiência no uso de ferramentas é proporcional à interferência do ser humano no ensinamento e quanto maior a disponibilidade de ferramentas no meio (POVINELLI et al., 2000; TOCHERI et al., 2008).

Os macacos-prego usam vários objetos como ferramentas, incluindo varetas utilizadas como sonda para extrair melado de recipientes e pedras como martelos para abrir objetos mais duros (WESTERGAARD & FRAGASZY, 1987; ANDERSON, 1990). Além disso, exibem representativa inteligência que, provavelmente, interfere no entendimento dos aspectos causais de suas ações de utilização de ferramentas (VISALBERGHI & TRINCA, 1989; VISALBERGHI & LIMONGELLI, 1994; VISALBERGHI et al.,1995). Estudos sobre memória e comportamento de *Cebus ssp.* indicam sua proximidade comportamental em relação aos chimpanzés (CONDE et al.,1999; TAVARES & TOMAZ, 2002).

A habilidade de executar movimentos altamente individualizados dos dedos depende do número e extensão das conexões dos neurônios corticais motores e inervação das mãos (KUYPERS, 1981; MUIR & LEMON, 1983; SHINODA et al., 1986; PORTER & LEMON, 1993). Dados mostram que os *Cebus* apresentam um denso substrato de neurônios motores cortico-espinhais relacionados aos seus dedos, semelhante ao que é observado em humanos e chimpanzés (BORTOFF & STRICK, 1993).

A destreza manual, associada ao aumento das áreas do córtex motor e pré-motor, áreas suplementares e de associação do neocórtex, conduziu ao uso das folhas, das varas, dos ossos, e das pedras como ferramentas durante o forrageamento, tanto pelos hominídeos quanto por outros macacos. Desse modo, forragear representa a mais comum ocasião para o uso de ferramentas (BREWER & MCGREW, 1990; INOUE-NAKAMURA & MATSUZAWA, 1997; HUMLE & MATSUZAWA, 2002).

De fato, todos os primatas podem agarrar um objeto e prendê-lo, em parte ou completamente, dentro de uma só mão, uma característica preênsil que os diferencia de qualquer outra espécie de mamífero (NAPIER, 1956). Segundo MOORE & DALLEY (2001), movimentos manuais usados para pegar e manipular determinados objetos são considerados muito complexos e envolvem movimentos como os de oponência e pinça. De acordo com NAPIER (1956), características

anatômicas que facilitem a habilidade humana de agarrar objetos de maneira precisa e movê-los com grande destreza incluem um polegar inteiramente opositor e relativamente longo em relação ao indicador e, superfícies largas dos coxins permitindo contato de toda a superfície destes entre os dedos.

Nos últimos anos, estudos do comportamento e testes fisiológicos foram direcionados à resposta motora em relação ao uso das mãos e o potencial cognitivo à observação da hierarquia social dos primatas não-humanos. Testes em *Macaca mulatta* mostraram que a reação neuronal do córtex cerebral motor fornece informações precisas de movimentos paramétricos (DOMBROWSKI et al., 2001).

1.4 Morfofisiologia do neocórtex de primatas

Em primatas, a maioria do córtex cerebral, também denominado neocórtex, ocupa de dois a quatro milímetros da superfície dos hemisférios cerebrais. É designada substância cinzenta e classificada estruturalmente como isocórtex, uma vez que apresenta seis camadas celulares bem nítidas (MACHADO, 1999). Além das células neurogliais, a substância cinzenta, como um todo, é composta basicamente por corpos de neurônios com diferentes funções e morfologia, e responde por todas as funções de percepção sensorial psico-fisiológicas de alto nível, planejamento, representação de objetos e eventos, e tomada de decisões (WELLS, 2005).

Do ponto de vista anatômico, a classificação do córtex cerebral baseia-se na divisão dos lobos, e na descrição dos seus giros e sulcos que os delimitam. A existência dos sulcos permite considerável aumento de superfície sem grande aumento de volume cerebral; sabe-se que cerca de dois terços do neocórtex no homem estão “escondidos” nos sulcos (MACHADO, 1999). Há estudos que co-relacionam o tamanho do neocórtex aos aspectos comportamentais dos primatas, como a capacidade de formação de coalizões na rede social (KUDO & DUNBAR, 2001).

A necessidade de incrementar a habilidade motora das mãos para sobrevivência levou ao aumento das áreas neocorticais. O fato de possuir as

mãos livres permitiu o aprimoramento dos movimentos de preensão, impulsionando o desenvolvimento cortical para uso e preparação de ferramentas (RIBAS, 2006). Uma análise da atividade cortical de primatas humanos e não-humanos, utilizando técnica de neuro-imagem, comprovou a participação dos córtices parietal e pré-motores durante a execução de movimentos de ambas as mãos, relacionando os mesmos ao uso complexo de ferramentas. Essas áreas são envolvidas no movimento do membro superior guiados por estímulo sensorial (FREY, 2007).

VISALBERGHI et al. (2009) relataram as ações planejadas por *Cebus apella* na seleção de ferramentas em vida livre. No estudo, pedras de diferentes pesos, tamanhos e materiais eram fornecidas, e os indivíduos escolhiam suas ferramentas de peso e material apropriados baseando-se na percepção visual ou na movimentação das mesmas (levantando ou batendo). A mudança de uma pedra inadequada era comum, indicando uma apreciação pela pedra ideal e um processo decisório.

Os aspectos que nortearam a evolução dos sentidos e encefalização de primatas indicam uma acentuada percepção visual em detrimento da olfação. Esta ênfase é refletida nas mudanças filogenéticas do crânio, cérebro e olhos (JURMAIN et al., 2006).

As atividades mentais de primatas dependem, em grande parte, da representação visual porque a visão é uma modalidade dominante na percepção multissensorial do ambiente. Este é o sentido que atualiza constantemente os sistemas de informações sobre o meio, interpretando-o com o objetivo de integrar outros estímulos e prover comportamentos. Portanto, os estudos sobre o processamento visual de primatas não-humanos fornecem idéias práticas para elucidação da base das altas habilidades cognitivas (MATSUNO & FUJITA, 2009).

Existe uma estreita relação entre o tipo de córtex definido por sua microestrutura e suas funções (DeFELIPE et al., 2002). O neocórtex pode ser dividido em diversas áreas distintas, de acordo com sua arquitetura microscópica (citoarquitetura) (MACHADO, 1999). BRODMANN (1909) delimitou histologicamente 52 áreas corticais como apresentado na figura 2 e quadro 1. Este trabalho viabilizou posteriores estudos para identificação dos tipos celulares e suas distintas funções.

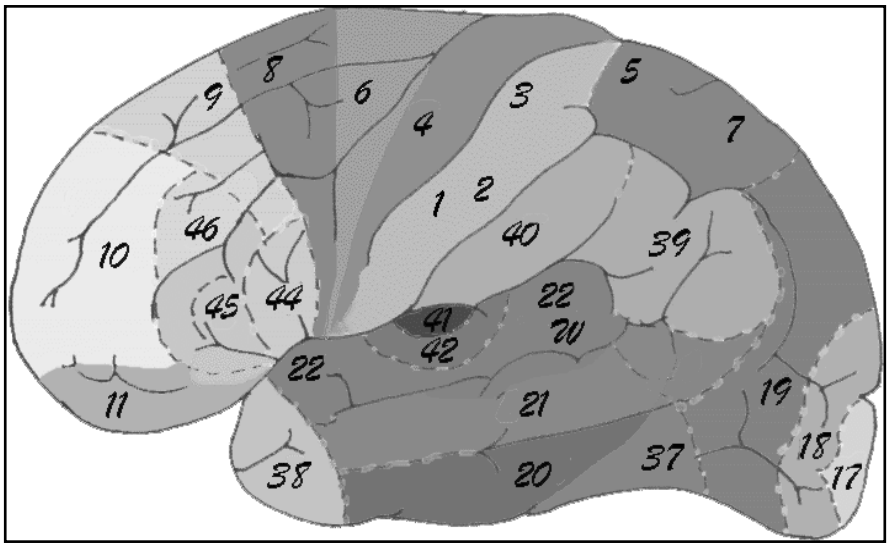

FIGURA 2 – Representação das áreas de Brodmann da face convexa do cérebro humano (Fonte: neuro.psyc.memphis.edu)

QUADRO 1 – Localização anatômica e respectivas funções das áreas de Brodmann, ilustradas na Figura 3

Região	Nome	Função
17	Pólo Occipital	Projeção Cortical Visual
18	Lobo Occipital	Associação Cortical Visual
19	Lobo Parietal Posterior	Associação Cortical Visual
37	Área Têmporo-parietal-occipital	Associação Cortical Sensorial Geral
39	Giro Angular	Reconhecimento de palavras
40	Lobo Supramarginal	Associação Cortical Somatosensorial
1,2,3	Giro Pós-central	Projeção Cortical Somatosensorial
5, 7	Lobulo Parietal Superior	Associação Cortical Sensorial Geral
41, 42	Terço médio do Cortex Temporal Superior	Projeção Cortical Auditiva
22	Giro Temporal Superior	Associação Cortical Auditiva
21, 20, 38	Inferior Temporal Cortex	Associação Cortical Sensorial Geral
4	Giro Pré-central	Córtex Motor Primário
1,2,3	Giro Pós-central	Projeção cortical Somatosensorial
6,8,9	Córtex Pré-motor	Córtex Motor de Associação
41, 42	Terço médio do Córtex Temporal Superior	Projeção Cortical Auditiva
44,45,46	Área de Broca	Associação Cortical Motora–específica da fala
10	Córtex Pré-frontal	Córtex Motor de Associação Geral
11	Giro Orbital	Córtex Motor de Associação Geral

Fonte: adaptado de neuro.psyc.memphis.edu.

PAKKENBERG & GUNDERSEN (1997) estudaram o neocórtex e a quantificação neuronal do mesmo em humanos, associada à idade e sexo, e encontraram as maiores diferenças relacionadas ao sexo. A diminuição do número de neurônios que ocorre com a idade, foi atribuída à redução na extensão bidimensional do córtex e não a sua espessura.

Em estudo que determinou critérios de comparação celular entre primatas e roedores, HERCULANO-HOUZEL et al. (2007) concluíram que os cérebros de primatas aumentam em tamanho como uma função linear dos seus números de células neuronais. Isto indica que a média do tamanho das células permanece constante, enquanto que em roedores há uma diminuição na densidade neuronal em cérebros maiores, ou seja, nos últimos, o cérebro aumenta em tamanho mais do que ganha em número de neurônios.

A despeito das características anatômicas corticais, uma explicação para a maior capacidade cognitiva dos primatas seria a existência de diferenças nos fatores morfofisiológicos microscópicos da arquitetura cortical, fato confirmado por outros autores que citam que as diferenças anatômicas entre os encéfalos de pongídeos e hominídeos parecem ser qualitativas e não quantitativas (SWINDLER & WOOD, 1973).

Os dados de PEREIRA-DE-PAULA et al. (2010) confirmaram essa hipótese ao descrever os sulcos e giros dos hemisférios cerebrais de *Cebus libidinosus* (Figura 3), concluindo que apesar desta descrição ser mais próxima de babuínos do que de chimpanzés e humanos, os aspectos cognitivos colocam os *Cebus ssp.* próximos aos chimpanzés.

As assimetrias inter-hemisféricas também auxiliam no entendimento da organização cortical e o comportamento derivado, tais como destreza ou preferência manual. Em *Cebus apella*, PHILIPS & SHERWOOD (2005) estudaram a relação entre preferência manual e assimetrias do sulco central de primatas e reforçaram a importância de associar tais aspectos com a convergência evolutiva dos primatas.

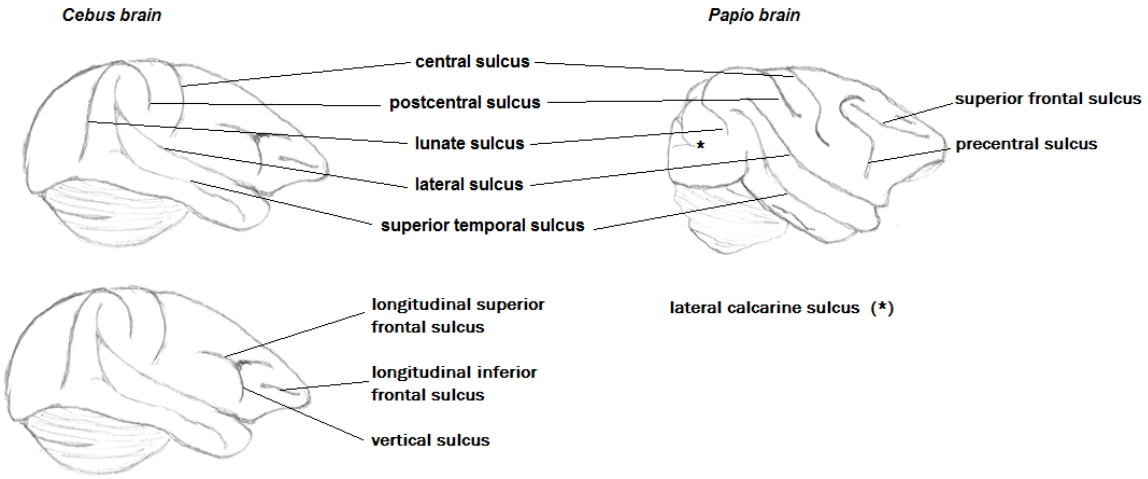

FIGURA 3 – Esquemas comparativos dos principais sulcos dos cérebros de *C. libidinosus* e babuínos (*Papio* sp) (Fonte: PEREIRA-DE-PAULA et al., 2010)

O fenômeno de encefalização pode ser mensurado objetivamente por meio do chamado "coeficiente ou índice de encefalização", que é calculado pela razão entre o peso do cérebro e o peso corporal. Isto equivale a calcular, para indivíduos de qualquer espécie, o peso que o cérebro teria se os seus pesos corporais fossem idênticos (AREIA, 1995).

Algumas variáveis contribuem para determinar o tamanho do cérebro intra-ordem e interespécies, como número de neurônios, número de células gliais, tamanho do corpo celular, arborização dendrítica e axonal, vascularização e espaço extracelular (HERCULANO-HOUSEL & LENT, 2005).

Dessa forma, considerando a evolução filogenética até o homem, o número de neurônios aumenta seguindo dois fatores essenciais: o peso corporal e a capacidade intelectiva. A relação número de neurônios e massa corporal, contudo, deve-se ao aumento do número de neurônios aferentes e motores, definido, respectivamente, pelo aumento absoluto da superfície do corpo e pelo maior número de células musculares (AVERSI-FERREIRA, 2008).

O neocórtex do adulto é formado microscopicamente por seis camadas horizontais, enumeradas de I a VI, da camada externa para a interna. O córtex também é estratificado em colunas, responsáveis pelo comando motor de várias

regiões do corpo e pelo processamento de informações aferentes também vindas de várias partes do corpo (MARIN PADILLA, 1992).

Diferentes métodos de coloração revelam a estrutura laminar do neocórtex. A camada I, a mais superficial em contato com a pia-máter, é denominada camada molecular ou acelular e contém principalmente dendritos e axônios de neurônios das camadas mais profundas. As camadas II a V – granulares e piramidais externas e internas, são assim designadas pela presença de neurônios granulares e/ou piramidais, em quantidade e tamanhos diversos. A camada VI – multiforme ou fusiforme – apresenta células de morfologia mais variada (Figura 4) (WELLS, 2005).

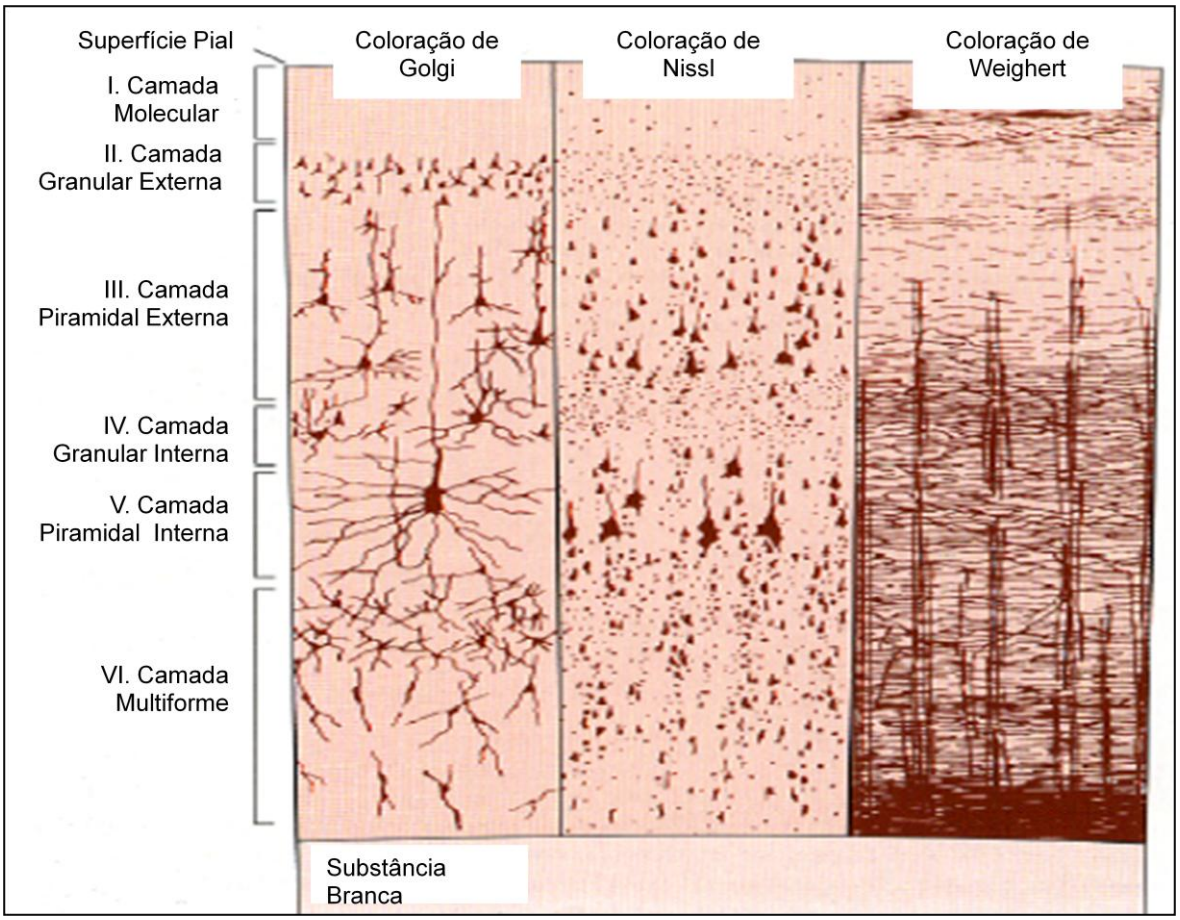

FIGURA 4 – Representação da citoarquitetura e disposição em seis camadas do neocórtex humano por diferentes métodos de coloração (Coloração de Golgi, Nissl e Weighert) (Fonte: adaptado de WELLS, 2005)

O neurônio, embora formado pelos mesmos componentes básicos de outras células, possui algumas características específicas que não são aparentes em cortes preparados por métodos de coloração geral, como a hematoxilina-eosina. O conhecimento sobre neurocitologia acumulou-se por todo século XIX, mas foi a partir da publicação da técnica de Camillo Golgi, em 1873, e suas adaptações, feitas principalmente por Santiago Ramón y Cajal, que esse conhecimento se intensificou e descortinou a penumbra sobre alguns aspectos da neurofisiologia cortical (DE CARLOS & BORRELL, 2007).

Atualmente, o termo “método de Golgi” é aplicado a um grupo de técnicas que utilizam dicromato de potássio no primeiro passo da impregnação do tecido neural. Três principais variantes do método de Golgi estão em uso corrente – *Golgi-rápido, Golgi–Kopsch e Golgi-Cox*, cada qual com suas vantagens e desvantagens. A escolha da técnica depende das condições prévias do tecido e as necessidades particulares do estudo (ROSOKLIJA et al., 2003). Em boas preparações, as células neurais impregnadas são vistas integralmente e seus processos dendríticos e axonais podem ser acompanhados por longas distâncias em secções espessas ou mesmo em secções adjacentes e seriadas (DE CARLOS & BORRELL, 2007).

A caracterização qualitativa e quantitativa que a impregnação de Golgi proporciona na visualização de dendritos e espículas dendríticas é única, porém inconstante dentre as variações da técnica original. É também considerada útil porque impregna aparentemente uma subpopulação neuronal de aproximadamente 5%, e pode ser examinada por microscopia de luz ou eletrônica e/ou combinada a imunoistoquímica (ROSOKLIJA et al., 2003).

O método de Golgi-Cox, uma das variáveis de Golgi, é tradicionalmente usado em tecido não fixado e, embora não seja considerado bom na impregnação de espículas dendríticas e no estudo de estruturas subcorticais, é um excelente método para assegurar a coloração de árvores dendríticas inteiras de neurônios corticais. Entretanto, a impregnação progressiva dos processos neuronais deve ser acompanhada e controlada pelo pesquisador, caracterizando-se pela coloração escura intensa dos dendritos e fundo claro amarelado. Além disso, é menos sensível que o método Golgi rápido em relação à modificações pós-morte (ROSOKLIJA et al., 2003). Assim, o maior desafio no método de Golgi é

desenvolver uma técnica em que o pesquisador esteja confiante que produzirá resultados utilizáveis.

Pesquisas acerca da fisiologia do córtex cerebral, do índice de encefalização, da memória e comportamento do macaco-prego possibilitaram associar suas características corticais morfofuncionais com aspectos evolutivos convergentes dos primatas (ANTINUCCI & VISALBERGHI, 1986; AREIA, 1995; BRESEIDA & OTTONI, 2001; RESENDE & OTTONI, 2002; TAVARES & TOMAZ, 2002; LIMA et al., 2003; LOPES, 2004; PHILIPS & SHERWOOD, 2005).

BARROS (2002) relatou que o uso de *Cebus ssp.*, aumentou muito nos últimos tempos em razão do seu pequeno porte, fácil manuseio e reprodução em cativeiro. Acrescente-se a isso sua semelhança anatômica com humanos, o que, segundo AREIA (1995) reforça o alto índice de encefalização e favorece suas habilidades cognitivas. A vasta distribuição do *Cebus ssp.* é um fator que tem gerado uma atenção maior para experimentos biológicos e médicos, apesar da insuficiência de estudos neste gênero.

O presente trabalho gerou a produção de dois artigos, aqui apresentados na forma de capítulos. No capítulo dois, intitulado “Descrição anatômica dos músculos extensores do antebraço de Cebus libidinosus associada a aspectos cognitivos e ao uso de ferramentas”, propôs-se a análise comparativa entre a anatomia muscular do antebraço com àquela de outros primatas que, individual ou conjuntamente, atuam nas mãos possibilitando movimentos mais ou menos especializados dos dedos, relacionando-se ao uso de ferramentas e aspectos cognitivos de *Cebus* spp. descritos na literatura.

No capítulo três, intitulado “Citoarquitetura do neocórtex occipital de *Cebus libidinosus*” propôs-se a análise da citoarquitetura do córtex cerebral occipital utilizando a técnica de Golgi-Cox, sob os aspectos qualitativos e quantitativos que esta técnica de impregnação de neurônios proporciona e, compará-los com dados descritos na literatura.

1.5 Referências

1. ANDERSON, J. R. Use of objects as hammers to open nuts by capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Folia Primatologica**, Basel, v. 54, n. 3-4, p. 138-145, 1990.

2. ANTINUCCI, F.; VISALBERGHI, E. Tool use in *Cebus apella*: a case study. **International Journal of Primatology**, New York, v. 7, n. 4, p. 351-363, 1986.

3. AREIA, M. **Encefalização**. Texto do Instituto Antropológico de Coimbra, Coimbra,1995.

4. AURICCHIO, P. **Primatas do Brasil. Terra Brasilis**. São Paulo: Objetiva, 1995. 168 p.

5. AVERSI-FERREIRA, T. A. (aversiferreira@hotmail.com) Neuroarquitetura e Neuroconectividade. Revisão bibliográfica. Mensagem recebida por PRADO, Y.C.L. (yandra.prado@hotmail.com). Acesso em: 08 ago. 2008.

6. AVERSI-FERREIRA, T. A. Comparative anatomical description of forearm and hand arteries of *Cebus libidinosus*. **Internacional Journal of Morphology**, Santiago, v. 27, n. 1, p. 219-226, 2009.

7. AVERSI-FERREIRA, T. A.; LIMA-E-SILVA, M. S.; PEREIRA-DE-PAULA, J.; GOUVÊA-E-SILVA, L. F.; PENHA-SILVA, N. Anatomia comparativa dos nervos do braço de *Cebus apella*. Descrição do músculo dorsoepitroclear. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, n. 3, p.291-296, 2005a.

8. AVERSI-FERREIRA, T. A.; AVERSI-FERREIRA R. A. G. M. F.; SILVA, Z.; GOUVÊA-E-SILVA, L. F.; PENHA-SILVA, N. Estudo anatômico de músculos profundos do antebraço de *Cebus apella* (Linnaeus, 1766). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 297-301, 2005b.

9. AVERSI-FERREIRA, T. A.; VIEIRA, L. G.; PIRES, R. M.; SILVA, Z.; PENHA-SILVA, N. Estudo comparativo entre os músculos flexores superficiais do antebraço de macaco *Cebus* e do homem. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 139-144, 2006.

10. AVERSI-FERREIRA, T. A.; PEREIRA-DE-PAULA, J.; LIMA-E-SILVA, M. S.; PRADO, Y. C. L.; SILVA, Z. Estudo anatômico das artérias do ombro de *Cebus libidinosus* (Rylands, 2000; PRIMATES – CEBIDAE). **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 8, n. 2, p. 272-284, 2007a.

11. AVERSI-FERREIRA, T. A.; PEREIRA-DE-PAULA, J.; PRADO, Y. C. L.; LIMA-E-SILVA, M. S., MATA, J. R. Anatomy of the shoulder and arm muscles of *Cebus libidinosus*. **Brazilian Journal of Morphological Science**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 63-74, 2007b.

12. AVERSI-FERREIRA, T. A., PEREIRA-DE-PAULA, J.; LIMA-E-SILVA, M. S.; SILVA, Z. Anatomy of the arteries of the arm of *Cebus libidinosus* (Rylands et al., 2000) monkeys. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 29, n.3, p. 247-254, 2007c.

13. BARROS, R. A. C.; PRADA, I. L. S.; SILVA, Z.; RIBEIRO, A. R.; SILVA, D. C. O. Lumbar plexus formation of the *Cebus apella* monkey. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 40, n. 5, p.373-381, 2003.

14. BOESCH-ACKERMAN, H.; BOESCH, C. Tool use in wild chimpanzees: new light from dark forest. **Current Directions in Psychological Science**, Washington, v. 2, n. 1, p. 18-21, 1993.

15. BOESCH, C.; BOESCH, H. Tool use and tool making in wild chimpanzees. **Folia Primatologica**, Basel, v. 54, n. 1-2, p. 86-99, 1990.

16. BORTOFF, G. A.; STRICK, P. L. Corticospinal terminations in two new-world primates: further evidence that corticomotoneuronal connections provide part of the neural substrate for manual dexterity. **The Journal of Neuroscience**, Baltimore, v. 13, n. 12, p. 5105-5118, 1993.

17. BRESEIDA, D. R.; OTTONI, E. B. Observational learning in the manipulation of a problem-box by tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Revista de Etologia**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 3-13, 2001.

18. BREWER, S. M.; MCGREW, W. C. Chimpanzee use of a tool-set to get honey. **Folia Primatologica**, Basel, v. 54, p. 100-104, 1990.

19. BRODMANN, K. Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Principien, dargestellt auf grund des Zellenbaues. Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag, 1909. Tradução em inglês de GAREY, L. J. **Localization in the Cerebral Cortex by Korbinian Brodmann**. London: Smith-Gordon, 1994.

20. BYRNE, R. W. Evolution of primate cognition**. Cognitive Science**, Austin, v. 24, n. 3, p. 543-570, 2000.

21. BYRNE, R. W. The manual skills and cognition that lie behind hominid tool use. In: RUSSON, A. E.; BEGUN, D. R. **The Evolution of Thought: Evolutionary Origins of Great Ape Intelligence**. Cambrigde: Cambrigde University Press, 2004. cap. 3, p. 31-44.

22. CELLI, M. L.; TOMONAGA, M.; UDONO, T.; TERAMOTO, M.; NAGANO, K. Tool use task as environmental enrichment for captive chimpanzees. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 81, n. 2, p. 171-182, 2003.

23. CHENEY, D. L.; SEYFARTH, R. M. Recognition of other individuals' social relationships by female baboons. **Animal Behavior**, London, v. 58, n. 1, p. 67–75, 1999.

24. CONDE, C. A.; COSTA, V.; TOMAZ, C. Mensuring emotional memory in the elevated t-maze using a training-to-criterion procedure. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, Fayetteville, v. 63, n. 1, p.63-69, 1999.

25. COSTELLO, M.B.; FRAGASZY, D.M. Prehension in *Cebus* and *Saimiri*: Grip type and hand preference. **American Journal of Primatology**, New York, v. 15, n. 3, p. 235–245, 1988.

26. COUSSI-KORBEL, S.; FRAGASZY, D. M. On the relation between social dynamics and social learning. **Animal Behaviour**, London, v. 50, n. 6, p. 1441-1553, 1995.

27. DE CARLOS, J. A.; BORRELL, J. A historical reflection of the contributions of Cajal and Golgi to the foundations of neuroscience. **Brain Research Reviews**, Amsterdam, v. 55, n. 1, p. 8-16, 2007.

28. DeFELIPE, J.; ALONSO-NANCLARES, L.; ARELLANO, J. I.; Microstructure of the neocortex: Comparative aspects. Journal of Neurocytology, Durham, v. 31, p. 299–316, 2002.

29. DOMBROWSKI, S. M.; HILGETAG, C.C.; BARBAS, H. Quantitative architecture distinguishes prefrontal cortical systems in the rhesus monkey. **Cerebral Cortex**, Cary, v. 11, n. 10, p. 975-988, 2001.

30. FRAGASZY, D. M.; VISALBERGHI, E.; FEDIGAN, L. M. **The Complete Capuchin. The biology of the genus *Cebus***. Cambrigde: Cambrigde University Press, 2004, 339p.

31. FREY, S. H. What puts the how in where? Tool use and the divided visual streams hypothesis. **Cortex**, Varese, v. 43, p. 368-375, 2007.

32. GEN, Y.; SUGIYAMA, Y. Pestle-pounding behavior wild chimpanzee at Bossou Guinea: A newly observed tool-using behavior. **Primates**, Inuyama, v. 36, n. 4, p. 489-500, 1995.

33. GARBER, P. A. Foraging strategies among living primates. **Annual Review of Anthropology**, Palo Alto, v. 16, p. 339-364, 1987.

34. HAUSER, M. D.; CHOMSKY, N.; FITCH, W. T. The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? **Science**, Washington, v. 298, n. 5598, p.1569-1579, 2002.

35. HERCULANO-HOUZEL, S.; COLLINS, C. E.; WONG, P.; KAAS, J. H. Cellular scaling rules for primate brains. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of the America**, Washington, v. 104, n. 9, p. 352-3567, 2007.

36. HERCULANO-HOUZEL, S.; LENT, R. Isotropic fractionator: a simple, rapid method for the quantification of total cell and neuron numbers in the brain. **The Journal of Neuroscience**, Baltimore, v. 25, n. 10, p. 2518-2521, 2005.

37. HIRATA, S.; MORIMURA, N. Naive chimpanzees' (*Pan troglodytes*) observation of experienced conspecifics in a tool-using task. **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 114, p. 291–296, 2000.

38. HOLLOWAY, R. L. Endocranial volumes of early African hominids, and the role of the brain in human mosaic evolution. **Journal of Human Evolution**, London, v. 2, n. 6, p. 449–459, 1973.

39. HOLLOWAY, R. L. Toward a synthetic theory of human brain evolution. In: CHANGEUX, J-P.; CHAVAILLON, J. **Origins of the Human Brain**, New York: Oxford Universtity Press, 1995, cap. 3, p. 42-60.

40. HUMLE, T; MATSUZAMA, T. A. Ant-dipping among the chimpanzees of Bossou, Guinea, and some comparisons with other sites. **American Journal of Primatology**, New York, v. 58, n. 3, p. 133-148, 2002.

41. INOUE-NAKAMURA, N.; MATSUZAWA, T. Development of stone tool use by wild chimpanzees (*Pan troglodytes*). **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 111, n. 2, p. 159-173, 1997.

42. IZAWA, K. Social behavior of the wild black-capped capuchin (*Cebus apella*). **Primates**, Inuyama, v. 21, n. 4, p. 443-467, 1980.

43. JOHNSON, C. M. Distributed primate cognition: a review. **Animal Cognition**, Berlin, v. 3, n. 4, p. 167-183, 2001.

44. KITAHARA-FRISCH, J.; NORIKOSHI, K. Spontaneous sponge-making in captive chimpanzees. **Journal of Human Evolution**, London, v. 11, n. 1, p. 41-47, 1982.

45. KUDO, H.; DUNBAR, R. I. M. Neocortex size and social network size in primates. **Animal Behaviour**, London, v. 62, n.4, p. 711-722, 2001.

46. KUYPERS, H. G. J. M. Anatomy of the descending pathways. In:___ **Handbook of Psysiology**. Bethesda: V. B. Brooks, 1981, seção I, parte I, p.597-666.

47. LACAZ, C. E. O macaco, a sabedoria popular e a etologia cognitiva, [on line], 2007. Disponível em: http://www.iced.org.br/artigos/omacacocarlos lacaz. PDF. Acesso em: 09 ago 2008.

48. LIMA, B.; FIORANI, L.; GATTASS, R. Modulation by context of a scene in monkey anterior infratemporal cortex a sacadic eye movement task. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 75, n. 1, p. 71-76, 2003.

49. LIMONGELLI, L.; BOYSEN, S.; VISALBERGHI, E. Comprehension of cause and effect relationship in a tool-using task by common chimpanzees (*Pan troglodytes*). **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 109, n.1, p. 18-26, 1995.

50. LOPES, R. J. Gênio da selva. **Scientific American Brasil**. São Paulo, v. 27, p. 25-32, 2004.

51. MACHADO, A. Estrutura e funções do córtex cerebral. In:_____ **Neuroanatomia Funcional**, 2.ed. São Paulo: Atheneu, 1999. cap. 27, p. 257-274.

52. MARIN-PADILLA, M. Ontogenesis of the pyramidal cell of the mammalian neocortex and developmental cytoarchitectonics: a unifying theory. **The Journal of Comparative Neurology**, New York, v. 321, n. 2, p. 223-240, 1992.

53. MARTIN, R. D. **Primate origins and evolution**. New Jersey: Princeton University Press, 1990. 804 p.

54. MATSUNO, T.; FUJITA, K. A. comparative psychophysical approach to visual perception in primates. **Primates**, Inuyama, v. 50, n. 2, p. 121–130, 2009.

55. MORIMURA, N.; MATSUZAWA, T. Memory of movies by chimpanzees (*Pan troglodytes*). **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 115, n. 2, p. 152-158, 2001.

56. MOORE, L. K.; DALLEY, A. F. O membro superior. In: **Anatomia Orientada para a Clínica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.591-725, 2001.

57. MUIR, R. B.; LEMON, R. N. Corticospinal neurons with a special role in precision grip. **Brain Research**, Amsterdam, v. 261, n. 2, p. 312-316, 1983.

58. NAPIER, J. R. The prehensile movements of the human hand. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, London, v. 38 B, n. 4, p. 902-913, 1956.

59. PADBERG, J.; FRANCA, J. G.; COOKE, D. F.; SOARES, J. G. M.; ROSA, M. G. P.; FIORANI Jr, M.; GATTASS, R.; KRUBITZER, L. Parallel evolution of cortical areas involved in skilled hand use. **The Journal of Neuroscience**, Baltimore, v. 27, n. 38, p. 10106-10115, 2007.

60. PAIVA, M. J. A. F. D. **Causas e conseqüências da encefalização nos hominídeos**. Departamento de Antropologia da Universidade de Coimbra; 1998. Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt/wwwantr/areas/paleontologia/encefal/textos/html/causas%20e%20consequencias.htm>. Acesso em: 09 set. 2005.

61. PAKKENBERG, B.; GUNDERSEN, H. J. G. Neocortical neuron number in humans: effect of sex and age, **The Journal of Comparative Neurology**, New York, v. 384, n. 2, p. 312-320, 1997.

62. PEREIRA-DE-PAULA, J.; PRADO Y. C. L.; TOMAZ, C. A. B.; AVERSI-FERREIRA T. A. Anatomical study of the main sulci and gyri of the *Cebus*

libidinosus (Rylands, 2000) brain. **Neurobiologia Journal**, Recife, v. 73, n. 2, p. 65-78, 2010.

63. PHILLIPS, K. A.; SHERWOOD, C. C. Primary motor cortex asymmetry is correlated with handedness in capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Behavioral Neuroscience**, Washington, v.119, p.1701-1704, 2005.

64. PORTER, R.; LEMON, R. N. **Corticospinal Function and Voluntary Movement**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

65. POVINELLI, D. J.; BERING, J. M.; GIAMBRONE, S. Toward a science of other minds: escaping the argument by analogy. **Cognitive Science**, Norwood, v. 24, n. 3, p. 509–541, 2000.

66. PRUETZ, J. D.; BERTOLANI, P. Savanna chimpazees, *Pan troglodytes* versus, hunt with tools. **Current Biology**, London, v. 17, n. 5, p. 412-417, 2007.

67. RESENDE, B. D.; OTTONI, E. B. Brincadeira e aprendizagem do uso de ferramentas em macacos-prego (*Cebus apella*). **Estudos em Psicologia**, Natal, v. 7, n.1, p. 173-180, 2002.

68. RIBAS, G. C. Considerações sobre a evolução filogenética do sistema nervoso, o comportamento e a emergência da consciência. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 321-325, 2006.

69. RIBEIRO, A. R. **Estudo Anatômico do Plexo Braquial do macaco *Cebus apella*. Origem, composição e ramos resultantes**. 2002. 160 f. Dissertação (Mestrado em Anatomia dos Animais Domésticos) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

70. ROSOKLIJA G.; MANCEVSKI, B.; ILIEVSKI, B. , PERERA, T.; LISANBY, S. H.; COPLAN, J. D.; DUMA, A.; SERAFIMOVA, T.; DWORK, A. J. Optimization of Golgi methods for impregnation of brain tissue from humans and monkeys. **Journal of Neuroscience Methods**, Amsterdam, v. 131, n. 1, p. 1-7, 2003.

71. RYLANDS, A. B.; SCHNEIDER, H.; LANGGUTH, A.; MITTERMEIER, R. A.; GROVES, C. P.; RODRIGUEZ-LUNA, E. An assessment of the diversity of new world primates. **Neotropical Primates**, Belo Horizonte, v. 8, n. 2, p. 61-93, 2000.

72. SANTINI, M. E. L. Observações sobre o comportamento social Cebus apella em cativeiro. A primatologia no Brasil. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE PRIMATOLOGIA, Belo Horizonte. **Anais do I Congresso Brasileiro de Primatologia**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Primatologia, 1983. p. 65-69.

73. SHINODA Y.; YAMAGUCHI T.; FUTAMI T. Multiple axon collaterals of single corticospinal axons in the cat spinal cord. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 55, p. 425-448, 1986.

74. SWINDLER D. R.; WOOD C. D. **An Atlas of Primate Gross Anatomy**, Washington: University of Washington Press, 1973.

75. TAVARES, M. C. H.; TOMAZ, C. A. B. Working memory in capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Behavioral Brain Research**, Amsterdam, v. 131, n. 1-2, p. 131-137, 2002.

76. TOBIAS, P. V. The brain of the first hominids. In: CHANGEUX, J. P.; CHAVILLON, J. **Origins of the Human Brain**. New York: Oxford University Press, 1995, cap. 4, p. 61- 76.

77. TOCHERI, M. W.; ORR, C. M.; JACOFSKY, M. C.; MARZKE, M. W. The evolutionary history of the hominin hand since the last common ancestor of *Pan* and *Homo*. **Journal of Anatomy**, London, v. 212, n. 4, p. 544-562, 2008.

78. TOMASELLO, M. **The cultural origins of human cognition**. Cambrigde: Harvard University Press, 1999. 248p.

79. TOMASELLO, M. First steps toward a usage-based theory of language acquisition. **Cognitive Linguistics**, Berlin, v. 11, n. 1-2, p. 61-82. 2001.

80. TOMASELLO, M.; GUST, D.; FROST, G. T. A longitudinal investigation of gestural communication in young chimpanzees. **Primates**, Inuyama, v. 30, n. 1, p. 35-50, 1989.

81. TOTH, N.; SCHICK, K. D.; SAVAGE-RUMBAUGH, R. S.; SEVCIK, R. A.; RUMBAUG, D. M. Pan the tool-maker: Investigations into the stone-tool-making and tool-using capabilities of a bonobo (*Pan paniscus*). **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 20, n. 1, p. 81-91, 1993.

82. VISALBERGHI, E.; TRINCA, L. Tool use in capuchin monkeys: distinguishing between performing and understanding. **Primates**, Inuyama, v. 30, n. 4, p. 511-521, 1989.

83. VISALBERGHI, E.; LIMONGELLI, L. Lack of comprehension of cause-effect a tool use task in tufted capuchin monkey (*Cebus apella*). **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 108, n. 1, p. 15-22, 1994.

84. VISALBERGHI, E.; FRAGASZY, D. M.; SAVAGE-RUMBAUGH, S. Performance in a tool-using task by commom chimpanzees (*Pan troglodytes*), bonobos (*Pan paniscus*), and orangutan (*Pongo pygmaeus*), and capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 109, n. 1, p. 15-22, 1995.

85. VISALBERGHI, E.; SPAGNOLETTI, N.; RAMOS DA SILVA, E.; DE ANDRADE, F.; OTTONI, E.; IZAR, P.; FRAGASZY, D. Distribution of

potential suitable hammers and transport of hammer tools and nuts by wild capuchin monkeys. **Primates**, Inuyama, v. 50, n.2, p. 95-104, 2009.

86. WAGA, I. C., DACIER, A. K., PINHA, P. S.; TAVARES, M. C. H. Spontaneous tool use by wild capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) in the cerrado. **Folia Primatologica**, Basel, v. 77, n. 5, p. 337-344, 2006.

87. WELLS, R. B. Cortical Neurons and Circuits: A Tutorial Introduction. [on line], p.1-23, 2005. Disponível em: http://www.mrc.uidaho.edu/~rwells/ tech docs/Cortical%20Neurons%20and%20Circuits.pdf. Acesso em: 03 ago. 2008.

88. WESTERGAARD, G. C.; FRAGASZY, D. M. The manufacture and use of tools by capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 101, n. 2, p. 159-168, 1987.

CAPÍTULO 2 - Descrição anatômica dos músculos extensores do antebraço de *Cebus libidinosus* associada a aspectos cognitivos e ao uso de ferramentas

Anatomical description of the extensor muscles of the forearm associated with cognition and tool use in *Cebus libidinosus*

RESUMO

Apesar de sua abundância na América Latina, poucos estudos têm sido realizados com *Cebus libidinosus*, particularmente no que se refere aos músculos do antebraço, os quais controlam a maioria dos movimentos das mãos e dos dedos. O presente estudo teve como objetivo descrever os músculos extensores do antebraço de *C. libidinosus*, com a finalidade de correlacionar aspectos cognitivos e uso de ferramentas descritos em *Cebus* spp., comparando com humanos e outros primatas não-humanos do Velho Mundo. Observaram-se evidentes similaridades entre os músculos extensores de *C. libidinosus* com os músculos correspondentes em humanos e chimpanzés, porém houve diferenças desses músculos em relação aos babuínos. A estrutura e diferenciação dos músculos do antebraço do *Cebus* spp., associados ao seu já conhecido grau de encefalização, reforçam a associação entre suas habilidades manuais e os aspectos cognitivos e comportamentais em primatas.

Palavras-chave: Anatomia comparativa, macaco-prego, primatas não-humanos

ABSTRACT

In spite of its abundance in Latin America, few studies have been carried out with the *Cebus libidinosus* monkey, especially in relation to the forearm muscles, which control the majority of fingers and hand movements. In the present study, the forearm extensor muscles of *C. libidinosus* were described, with the purpose of correlating anatomical and filogenetic-evolutionary features of the species with humans and other non-human primates from the Old World. There were evident similarities between the extensor muscles in *C. libidinosus* primates and the correspondent muscles in humans and chimpanzees, but there were differences between the species studied and baboons. The structure and differentiation of the forearm muscles of *Cebus* spp., together with its previously known encephalization index, corroborate the association between its manual ability and cognitive and behavioral aspects in primates.

Key words: capuchin monkey, comparative anatomy, nonhuman primates

INTRODUÇÃO

Vários autores notaram semelhanças morfológicas entre *Cebus libidinosus*, chimpanzés, babuínos e humanos (AVERSI-FERREIRA et al., 2005a; AVERSI-FERREIRA et al., 2005b; AVERSI-FERREIRA et al., 2006; AVERSI-FERREIRA et al., 2007a; AVERSI-FERREIRA et al., 2007b; AVERSI-FERREIRA 2009; MARIN et al., 2009; PEREIRA-DE-PAULA et al., 2010), ainda que também tenham sido relatadas diferenças no que se refere aos modelos musculares, inervação, vascularização e anatomia neural. Um exemplo particular da semelhança é o músculo dorso-olécrano no *C. libidinosus*, que é o mesmo encontrado em gorilas, mas denominado músculo dorso-epitroclear (AVERSI-FERREIRA et al., 2005a).

Muitos estudos têm sido realizados com os primatas neotropicais do gênero *Cebus*, conhecidos por macaco-prego, relativos a comportamento e uso de ferramentas (ANTINUCCI & VISALBERGHI, 1986; WESTERGAARD & FRAGASZI, 1987; COSTELLO & FRAGASZI, 1988; BRESEIDA & OTTONI, 2001; RESENDE & OTTONI, 2002; LOPES, 2004; WAGA et al., 2006), índice de encefalização (PAIVA, 1998) e memória (TAVARES & TOMAZ, 2002). Esses estudos se justificam em razão desses primatas apresentarem elevada capacidade cognitiva e outras características biológicas que os torna similares aos primatas do Velho Mundo no que se refere a comportamentos no uso de ferramentas (MENDES et al., 2000; OTTONI et al., 2001; WAGA et al., 2006), organização social, capacidade baseada em transmissão de informações e aprendizado (RESENDE et al., 2003).

Em humanos, a mão se move livremente e é utilizada para segurar e manusear (BYRNE, 2000). No gênero *Cebus*, as mãos são utilizadas para alimentação, sustentação e por vezes na locomoção, em conjunto com os membros inferiores e a cauda semi-preênsil.

Há uma relação evidente entre a socialização, a fala, os movimentos finos das mãos e o volume do lobo frontal na história evolutiva dos humanos (BYRNE, 2000). De acordo com PAIVA (1998), o gênero *Cebus* apresenta um índice de encefalização maior que gorilas e orangotangos, e praticamente idêntico

aos dos chimpanzés, todos primatas do Velho Mundo. Tal informação parece discrepante devido à falta do movimento de oponência do polegar em *Cebus* spp. (característica que poderia denotar menor habilidade manual em comparação a outros primatas) e por ser um primata de pequeno porte do Novo Mundo.

CHRISTEL & FRAGASZY (2000) e SPINOZZI et al. (2004) mencionaram que existe uma "oponência lateralizada" em *Cebus* spp., informação confirmada em resultados prévios em apenas uma espécie (COSTELLO & FRAGASZY, 1988). FRAGASZY et al. (2004) também citaram a possível ocorrência de uma pseudo-oponência com relação aos polegares em *Cebus* spp., mas confirmação anatômica dessa possibilidade ainda não foi realizada.

Estudos dos músculos do antebraço são relevantes por essas estruturas controlarem a maioria dos movimentos dos dedos e da mão. Porém, a descrição da porção extensora ainda não foi realizada, tendo em vista que apenas os músculos flexores foram descritos por AVERSI-FERREIRA et al. (2005b, 2006). As análises morfológicas de tais músculos constituem o principal objetivo deste estudo e deverão originar informações a serem confrontadas com observações acerca do comportamento, habilidades manuais e anatomia comparativa de primatas.

Por outro lado, em termos de importância médica, deve ser considerado que não é raro que esses animais sejam atendidos no Brasil em clínicas veterinárias como vítimas de acidentes com eletricidade e outros traumas, necessitando de cuidados emergenciais (KINDLOVITS, 1999). No entanto, o restrito conhecimento anatômico dificulta a realização de forma correta dos procedimentos clínicos e cirúrgicos necessários. Além disso, primatas não-humanos podem ser utilizados para testes farmacológicos, estudos neurofisiológicos e como modelos cirúrgicos experimentais (MOULIAS & BERAT-MULLER, 1968; WIZEMANN & PARDUE, 2001).

Neste trabalho, os músculos extensores do antebraço do *C.libidinosus* foram estudados. Verificou-se as inserções proximal e distal, vascularização, inervações e a relação com músculos similares em humanos (GRAY, 2000) e outros primatas descritos na literatura, o chimpanzé e o babuíno (SWINDLER & WOOD, 1973).

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras – foram utilizados oito espécimes adultos saudáveis de *C. libidinosus*, sendo sete machos e uma fêmea, com peso corporal variando entre um e três quilogramas, apresentando pelo escuro com diversos tons de marrom, mais comumente marrom escuro. Quatro desses animais foram doados a partir da coleção anatômica do Laboratório de Neurociências e de Comportamento de Primatas (NECOP) do CAC da Universidade Federal de Goiás. Os demais foram doados pelo Instituto Brasileiro de Recursos Naturais e Renováveis (IBAMA) de Goiás. Os métodos utilizados neste trabalho foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás (CoEP-UFG 81/2008, autorização do IBAMA 15275). Todos os procedimentos envolvendo animais foram realizados de acordo com as normas do Colégio Brasileiro de Experimentação Animal (COBEA).

Preparação dos animais – inicialmente, cada animal foi contido com puçá e tranqüilizado com uma injeção intramuscular de quetamina (10mg/kg). Em seguida, os animais foram pesados, a veia cefálica canulada e uma dose letal de tiopental sódico (50mg/kg) foi administrada. Em seguida, uma celiotomia permitiu a injeção intravenosa (através da artéria aorta abdominal) de látex 601-A (Dupont) corado com pigmentação vermelha diluída em hidróxido de amônia, para facilitar a observação de pequenos ramos arteriais. Além disso, receberam perfusão pela veia femoral de solução de formaldeído a 10% com glicerina a 5% para fixação dos tecidos. Os animais foram conservados em solução de formaldeído a 10% em cubas opacas cobertas, para evitar a evaporação da solução conservadora.

Dissecação e documentação – embora a posição anatômica quadrupedal possa ser considerada na orientação da terminologia anatômica em primatas não-humanos, atribuiu-se, para o segmento do antebraço, a posição do radio como lateral (lado do polegar) e a posição da ulna como medial, tal como mencionado por FLEAGLE (1999). Dois grupos - superficiais e profundos – dos músculos extensores do antebraço foram descritos, baseando-se na literatura de GRAY (2000). A dissecação foi documentada por meio de uma câmera digital. Os resultados foram analisados e comparados com àqueles para primatas humanos e não-humanos descritos na literatura especializada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para fins de comparação, os dados publicados por AVERSI-FERREIRA et al. (2005b, 2006) foram revisados. A porção dos músculos flexores do antebraço foi também dissecada e fotografada nos exemplares deste estudo e, esta revisão está disposta no Anexo desta tese.

Os músculos extensores podem ser classificados, segundo a ação principal exercida pelo músculo, em três grupos – extensores do carpo (m. radial longo do carpo, m. extensor radial curto do carpo e m. extensor ulnar do carpo); extensores dos dígitos (m. extensor digital comum, m. extensor próprio do indicador e m. extensor próprio do dedo mínimo) e extensores do polegar (m. extensor longo do polegar, m. extensor curto do polegar, m. abdutor longo do polegar) (TUTLE, 1969).

Todos os músculos referidos acima apresentam fixam-se por seus tendões de inserção distal nos ossos da mão (ossos do carpo, metacárpicos e falanges). Os tendões atravessam o retináculo dos extensores por bainhas tendíneas, isolada ou conjuntamente. Dos músculos que não atravessam o retináculo dos extensores (m. braquiorradial, m. ancôneo e m. supinador), somente o m. braquiorradial foi descrito.

Músculos extensores superficiais

No *C. libidinosus*, o **músculo braquiorradial**, localizado na porção ântero-lateral do antebraço (Figura 1), apresenta forma bem delimitada e longa, com ventre de maior diâmetro proximal e um tendão curto de inserção distal. A inserção proximal é na porção látero-distal da crista supracondilar do úmero e, a inserção distal é no processo estilóide do rádio. Esse músculo é inervado pelo nervo radial e vascularizado pelo ramo muscular da artéria radial, que é coberta pelo referido músculo nas porções proximal e média do antebraço.

Existe equivalência na inserção distal e ação do m. braquiorradial entre o *C. libidinosus*, humanos, chimpanzés e babuínos. O formato achatado desse músculo em *C. libidinosus* é mais parecido com o observado em babuínos, descrito por SWINDLER & WOOD (1973). No *C. libidinosus*, mais do que em

outras espécies, o m. braquiorradial é mais proeminente, mais largo e com inserção proximal mais alta no úmero.

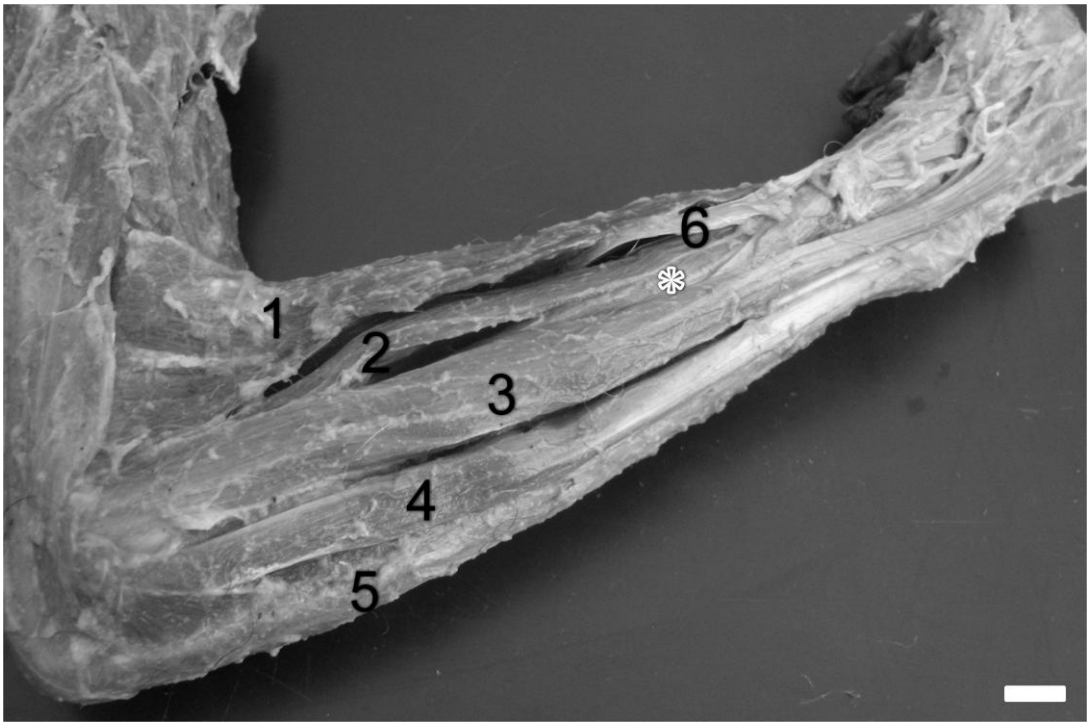

FIGURA 1 - Aspecto posterior do antebraço direito de *C. libidinosus* mostrando os músculos extensores superficiais. (1) m. braquiorradial; (2) m. extensor radial longo do carpo; (3) m. extensor digital comum; (4) m. extensor próprio do dedo mínimo; (5) m. extensor ulnar do carpo; (6) tendão do m. extensor curto do polegar; (*) m. extensor radial curto do carpo. Barra=0.9cm.

Ao analisar a posição e as inserções proximal e distal do m. braquiorradial no *C. libidinosus*, pode-se concluir que o mesmo possui ação agonista na flexão, semi-pronação e supinação do antebraço. Esses movimentos são importantes para as atividades arborícolas e justificam a sua largura ampla e sua semelhança ao mesmo músculo em babuíno.

O **músculo extensor radial longo do carpo** está localizado na porção póstero-lateral do antebraço de *C. libidinosus* (Figura 1), possuindo forma longa e ventre de diâmetro uniforme. Tem inserção proximal na porção látero-distal do úmero, na crista supracondilar, distalmente à inserção proximal do m. braquiorradial. Seu tendão de inserção distal passa pelo retináculo dos extensores profundamente ao tendão do músculo abdutor longo do polegar,

inserindo-se na superfície dorsal da base do segundo metacárpico. É inervado pelo nervo radial e vascularizado pelo ramo muscular da artéria radial.

O formato do m. extensor radial longo do carpo é similar em chimpanzés, babuínos e humanos. O ventre desse músculo não apresenta separação evidente daquele do m. extensor radial curto nos chimpanzés e babuínos, primatas que exibem o quadrupedalismo no solo (CHAMPNEYS, 1871; SWINDLER & WOOD, 1973).

O **músculo extensor radial curto do carpo** de *C. libidinosus* (Figura 1), situado na porção látero-posterior do antebraço, é longo e cilíndrico. A inserção proximal é no epicôndilo lateral do úmero, juntamente com os m. extensor digital comum e m. extensor próprio do dedo mínimo. Está inserido distalmente na superfície dorsal da base do terceiro metacárpico. Sua vascularização é realizada pelos ramos da artéria braquial e a inervação pelo nervo radial.

C. libidinosus e humanos apresentam padrões equivalentes de inervação e vascularização do m. extensor radial curto do carpo, pois em ambos o nervo intra-ósseo posterior é um ramo do nervo radial e a artéria radial recorrente é um ramo da artéria radial (TESTUT & LATARJET, 1959).

As inserções proximal e distal, ação, vascularização e inervação dos m. extensor radial longo do carpo e m. extensor radial curto do carpo se assemelham entre *C. libidinosus*, humanos, babuínos, chimpanzés. Com relação à fusão dos ventres musculares de ambos, nota-se que há grande similaridade entre *C. libidinosus* e os macacos do Velho Mundo (SWINDLER & WOOD, 1973) e, disparidade em relação aos mesmos músculos de humanos (TESTUT & LATARJET, 1959).

Situado na porção mediana do antebraço, o **músculo extensor digital comum** (Figura 1) é longo e plano em *C. libidinosus*. Sua inserção proximal é no epicôndilo lateral do úmero, o ventre alcança o terço distal do antebraço e o retináculo dos extensores. No dorso da mão, não há separação nítida dos tendões de inserção distal que seguem em direção aos dígitos (Figura 2). Estes tendões inserem-se nas aponeuroses dorsais, também denominadas expansões extensoras, dos dedos II a V. No *C. libidinosus*, as aponeuroses dorsais situam-se próximas das bases das falanges proximais, sendo que os tendões de inserção

distal apresentam-se bastante variados, com mais de um tendão para cada dedo, incluindo uma ramificação do tendão do dedo II para o polegar. O músculo é inervado pelo nervo radial e vascularizado pelo ramo muscular da artéria radial.

Em primatas do Velho Mundo, principalmente babuínos, o m. extensor digital comum não apresenta sua parte carnosa separada de músculos adjacentes, como o m. extensor próprio do dedo mínimo. Seus tendões passam sob o retináculo dos extensores e há grande variação na distribuição dos tendões para os dedos II ao V, inclusive variações intra-espécies (SWINDLER & WOOD, 1973).

Chimpanzés, babuínos e *C. libidinosus* possuem padrões equivalentes de inserções, ação, vascularização e inervação do m. extensor digital comum. Por outro lado, no homem é observada a nítida separação da porção carnosa desse músculo com outros músculos mais especializados e, o mais importante, não há ramificação acentuada ou inserções distais variadas dos tendões para os dedos (TESTUT & LATARJET, 1959), como ocorre nos primatas não-humanos (SWINDLER & WOOD, 1973).

No *C. libidinosus*, os tendões de inserção distal do m. extensor digital comum podem distribuir-se de forma variada, mas em geral se dividem em quatro na porção proximal da mão e, estes se dividem em mais de uma bifurcação para cada dedo. No entanto, uma ação neuro-comportamental individualizada é improvável, ou quase impossível. Ações dos dedos humanos, como por exemplo, a extensão isolada de qualquer um dos dedos – II, III, IV ou V - mantendo firmes e flexionados os demais, não podem acontecer em *C. libidinosus*. A ação extensora do m. extensor digital comum gera o movimento em todos os dedos pela distribuição da sua força tensionadora nos mesmos.

Em *Cebus* spp., estudos etológicos que contemplaram a observação dos movimentos de abrir e fechar das mãos relataram ações combinadas dos dedos (CHRISTEL & FRAGASZY, 2000). Todavia, em *C. apella*, SPINOZZI et al. (2004) consideraram um certo grau de controle independente dos dedos durante movimentos de preensão entre a falange distal do polegar e o indicador.

O **músculo extensor próprio do dedo mínimo**, situado na porção póstero-medial do antebraço de *C. libidinosus* (Figura 1), apresenta forma cilíndrica e alongada. Apresenta inserção proximal no epicôndilo lateral do úmero

e inserção distal nas aponeuroses dorsais dos dedos IV e V (Figura 2). Seu tendão de inserção distal passa por uma bainha separada dos tendões do extensor digital comum. É irrigado por ramos musculares da artéria radial e inervado pelo nervo radial.

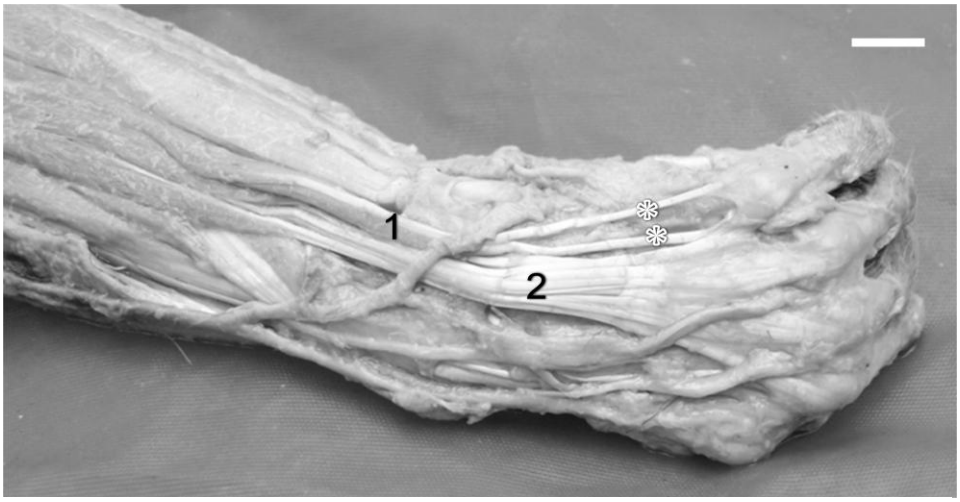

FIGURA 2 - Aspecto póstero-medial do dorso da mão esquerda de *C. libidinosus* mostrando os tendões dos músculos extensores superficiais. (1) tendão do m. extensor próprio do dedo mínimo e suas divisões (*) para a aponeurose dorsal dos dedos VI e V; (2) tendões do m. extensor digital comum. Barra=1cm.

Em babuínos, o m. extensor próprio do dedo mínimo possui inserção proximal comum com o extensor digital comum, no epicôndilo lateral do úmero e na fáscia que recobre a extremidade superior do rádio. No chimpanzé, porém, a separação das mesmas é evidente (CHAMPNEYS, 1871).

O m. extensor próprio do dedo mínimo em *C. libidinosus* é mais parecido ao músculo similar em humanos e chimpanzés devido à separação do ventre muscular em relação ao músculo extensor digital comum. No entanto, há diferença com relação aos babuínos, pois nesses há fusão dos ventres dos músculos supracitados (SWINDLER & WOOD, 1973). Por outro lado, o tendão de inserção distal do m. extensor próprio do dedo mínimo encontra-se nitidamente dividido; dessa forma, a ação desse músculo no dedo V não ocorre isoladamente, já que sua contração promove movimento do dedo IV. Este é outro fato que

evidencia a ação generalizada do músculo extensor digital comum em *C. libidinosus*, o que ocorre em outros primatas, mas não em humanos.

Em *C. libidinosus*, o **músculo extensor ulnar do carpo** está localizado na porção póstero-medial do antebraço (Figura 1). O músculo tem inserção proximal no epicôndilo lateral do úmero e inserção distal na superfície dorsal da base do quinto metacárpico. A irrigação é realizada pela artéria interóssea posterior e a inervação pelo nervo radial.

SWINDLER & WOOD (1973) descreveram a presença do m. extensor ulnar do carpo em chimpanzés e babuínos como uma estrutura bem definida situada lateralmente na massa central carnosa formada pelo músculo extensor digital comum.

Músculos extensores profundos

Em *C. libidinosus*, a inserção proximal do **músculo extensor próprio do indicador** (Figura 1) está na superfície posterior do corpo da ulna e da membrana interóssea. Distalmente, o músculo se insere nas aponeuroses dorsais dos dedos II, III e IV, é inervado pelo nervo interósseo posterior e vascularizado pela artéria interóssea posterior.

Em chimpanzés, SWINDLER & WOOD (1973) relataram a presença do m. extensor próprio do indicador, de forma similar ao que ocorre em humanos. Os autores afirmaram ainda que esse músculo não foi encontrado em babuínos, mas é parte do grupo extensor comum primitivo.

A ação isolada do músculo extensor próprio do indicador sobre o dedo II não pode ocorrer (ou é limitada) em *C. libidinosus* porque seu tendão de inserção distal não se insere exclusivamente no indicador. Proximal à sua passagem pelo retináculo dos extensores, o tendão de inserção distal se separa em dois e cada um, por sua vez, se bifurca, dando origem a quatro divisões que se inserem nos dedos II, III e IV (Figura 3). Dessa forma, o músculo em epígrafe determinará movimento em três dedos.

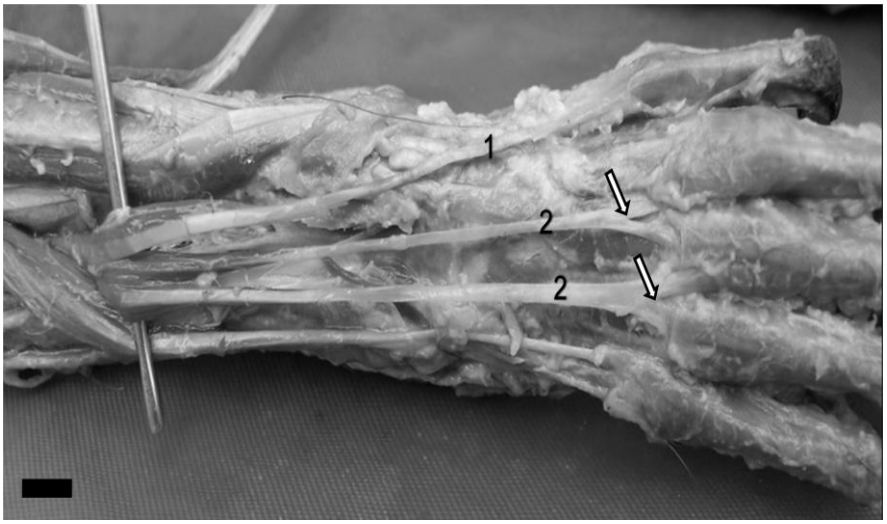

FIGURA 3 - Aspecto posterior do dorso da mão direita de *C. libidinosus*. Os músculos extensores superficiais foram removidos para evidenciar: (1) o tendão do m. extensor longo do polegar e, (2) os tendões do m. extensor próprio do indicador. As setas indicam os locais de divisão dos tendões para as aponeuroses dorsais dos dedos II, III e IV.

O **músculo abdutor longo do polegar** do *C. libidinosus* apresenta inserção proximal na superfície posterior da ulna, rádio e membrana interóssea e inserção distal na base do primeiro metacárpico (Figura 4). É inervado pelo nervo interósseo posterior e irrigado pela artéria interóssea posterior.

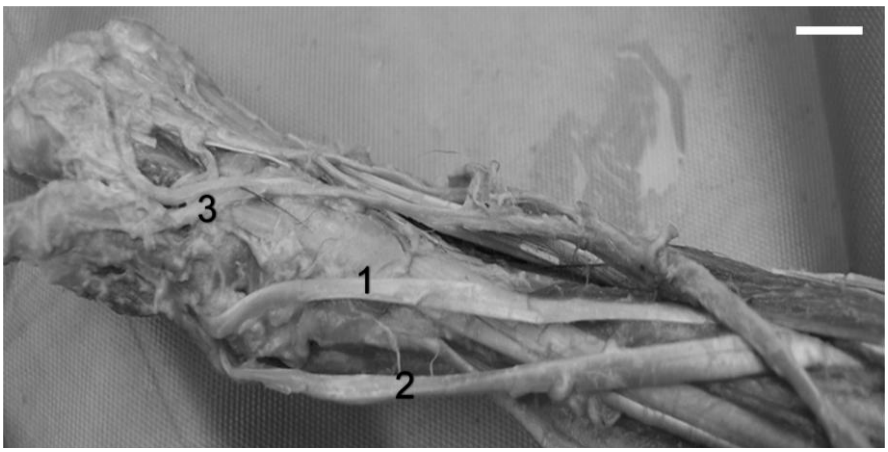

FIGURA 4 - Aspecto látero-posterior do antebraço direito de *C. libidinosus* evidenciando os tendões dos músculos extensores do polegar. (1) Tendão do m. extensor curto do polegar; (2) Tendão do m. abdutor longo do polegar; (3) Tendão do m. extensor longo do polegar. Barra=1,2 cm.

Em babuínos e chimpanzés, SWINDLER & WOOD (1973) mencionaram que o m. abdutor longo do polegar é um músculo grande e profundo na porção extensora do antebraço. Seu tendão distal se divide para se inserir no trapézio e no primeiro metacárpico.

No *C. libidinosus*, a inserção proximal do **músculo extensor longo do polegar** está situada na superfície posterior no terço médio da ulna e da membrana interóssea na região correspondente. Seu tendão de inserção distal se bifurca para se inserir nas bases das falanges proximal e distal do polegar (Figuras 4 e 5). O músculo é inervado pelo nervo interósseo posterior e irrigado pela artéria interóssea posterior. Babuínos e chimpanzés também possuem o m. extensor longo do polegar (SWINDLER & WOOD, 1973), derivado do "músculo extensor comum primitivo" (HOWELL & STRAUS, 1933).

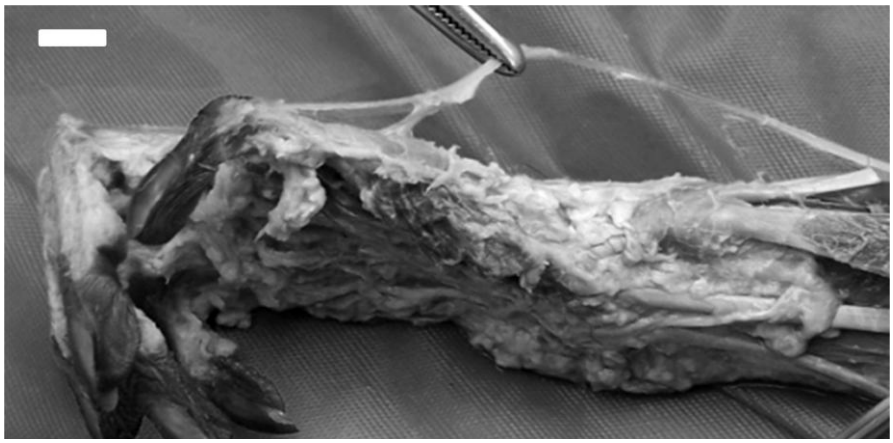

FIGURA 5 - Aspecto látero-anterior da mão direita de *C. libidinosus* evidenciando a bifurcação do tendão de inserção distal do m. extensor longo do polegar para as bases das falanges proximal e distal do polegar. Barra=0,7cm.

O **músculo extensor curto do polegar** do *C. libidinosus* apresenta sua inserção proximal no terço proximal do rádio e da membrana interóssea. Sua inserção distal é na cápsula articular na junção entre o trapézio e o primeiro metacárpico e na base deste último osso (Figura 4). O músculo é inervado pelo nervo interósseo posterior e irrigado pela artéria interóssea posterior.

Em chimpanzés, SWINDLER & WOOD (1973) referiram a inserção proximal do m. extensor curto do polegar a partir do m. extensor longo do polegar, diferentemente do observado neste trabalho em *C. libidinosus*, mas não descreveram a sua inserção distal. Já em babuínos, os mesmos autores afirmaram que o m. extensor curto do polegar não existe.

A inserção distal dupla do m. extensor curto do polegar em *C. libidinosus* não foi descrita em outros primatas. Essa inserção, por dedução, além de permitir a extensão do polegar, pode também contribuir com a flexão da mão. Não obstante, a própria existência desse músculo, ainda que a inserção distal difira daquela descrita no homem, confirma a maior semelhança de *C. libidinosus* com chimpanzés e humanos em detrimento dos babuínos, que não apresentam esse músculo (SWINDLER & WOOD,1973).

Os músculos extensor ulnar do carpo, abdutor longo do polegar e extensor longo do polegar são individualizados em humanos, chimpanzés, babuínos e *C. libidinosus*, apresentando similaridades com relação as inserções proximal e distal, formato, inervação e vascularização.

Pode-se observar muitas divisões dos tendões de inserção distal dos músculos extensores de *C. libidinosus*, o que pode explicar, de certa forma, a limitação de movimentos individualizados dos dedos. O dedo III, por exemplo, recebe um grande número de tendões, incluindo os do m. extensor digital comum e m. extensor próprio do indicador, que conferem grande resistência mecânica. Esta característica diminui a modulação da força de tensão exercida pelos músculos porque distribui as cargas musculares entre os ossos (falanges) tornando os movimentos menos especializados justamente por essa distribuição de cargas.

Para os músculos extensor curto do polegar e abdutor longo do polegar a inferência é a mesma, pois a ação conjunta na base do primeiro metacárpico aumenta a resistência exercida pelos tendões. A extensão do polegar parece não ser impedida pela inserção dupla do músculo extensor longo do polegar, entretanto a torna menos precisa quando na mudança de posição de um objeto que está sendo manuseado, por exemplo.

Do ponto de vista fisiológico, a manipulação precisa é dinâmica e isotônica, contrariamente à natureza estática da preensão (GARDNER et al.,

1988). Então, do ponto de vista anatômico, a manutenção da uniformidade de tensão durante a ação manipulativa requer inserções direcionadas a um único ponto de modo a promover o controle exato do polegar e demais dedos nos posicionamentos variados.

Em termos gerais, a descrição dos músculos que agem no polegar e demais dedos reforçam as observações de habilidade manual relatadas em estudos de comportamento de *C. libidinosus*. No presente trabalho, foram justamente os aspectos anatômicos relacionados ao polegar que podem, ao menos em parte, explicar alguns movimentos de preensão habilidosos descritos por SPINOZZI et al. (2004).

O modelo morfológico dos músculos extensores do antebraço em *C. libidinosus* favorece o uso de ferramentas mais do que em babuínos, aproximando-se mais de chimpanzés e humanos.

Os quadros 1 e 2 mostram as similaridades e as diferenças entre os músculos extensores superficiais e profundos do antebraço de *C. libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*).

Quadro 1 – Análise comparativa dos músculos extensores superficiais do antebraço entre *Cebus libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*).

Músculo	Características	*C. libidinosus*	Homem*	Pan**	Papio**
Braquiorradial	Inserção proximal	Porção látero-distal na crista supracondilar do úmero	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Processo estilóide do rádio			
	Inervação	n. radial			
	Vascularização	a. radial			
Extensor radial longo do carpo	Inserção proximal	Porção látero-distal na crista supracondilar do úmero	Não há união entre as porções carnosas de outros músculos	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Superfície dorsal da base do 2º metacárpico			
	Inervação	n. radial			
	Vascularização	a. radial			
Extensor radial curto do carpo	Inserção proximal	Epicôndilo lateral do úmero	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Superfície dorsal da base do 3º metacárpico			
	Inervação	n. radial			
	Vascularização	a. radial			
Extensor digital comum	Inserção proximal	Epicôndilo lateral do úmero	Menor variação quanto a distribuição de seus tendões para os dedos	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Aponeuroses dorsais dos dedos II a V			
	Inervação	n. radial			
	Vascularização	a. radial			
Extensor próprio do dedo mínimo	Inserção proximal	Epicôndilo lateral do úmero	Somente um tendão de inserção no dedo mínimo	Similar a *C. libidinosus,* mas com ventre isolado	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Aponeurose dorsal dos dedos IV e V			
	Inervação	n. radial			
	Vascularização	a.radial			
Extensor ulnar do carpo	Inserção proximal	Epicôndilo lateral do úmero	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus.*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Superfície dorsal da base do quinto metacárpico			
	Inervação	n. radial			
	Vascularização	a. interóssea posterior			

* Fonte: GRAY (2000); ** Fonte: SWINDLER & WOOD (1973).

Quadro 2 – Análise comparativa dos músculos extensores profundos do antebraço entre *Cebus libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*).

Músculo	Características	*C. libidinosus*	Homem*	Pan**	Papio**
Extensor próprio do indicador	Inserção proximal	Superfície posterior do corpo da ulna e membrana interóssea	Tendão isolado para o dedo indicador	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Aponeuroses dorsais dos dedos II, III e IV			
	Inervação	n. interósseo posterior			
	Vascularização	a. interóssea posterior			
Abdutor longo do polegar	Inserção proximal	Superfície posterior da ulna, rádio e membrana interóssea	Similar to *C. libidinosus*	Inserção dupla no trapezóide e na base do metacarpo I	Similar a Pan
	Inserção distal	Base do primeiro metacárpico			
	Inervação	n. interósseo posterior			
	Vascularização	a. interóssea posterior			
Extensor longo do polegar	Inserção proximal	Superfície posterior no terço médio da ulna e membrana interóssea	Inserção única na falange distal do polegar	Derivado de um músculo extensor comum primitivo	Similar a Pan
	Inserção distal	Bases das falanges proximal e distal do polegar			
	Inervação	n. interósseo posterior			
	Vascularização	a. interóssea posterior			
Extensor curto do polegar	Inserção proximal	Terço proximal do radio e membrana interóssea	Inserção única na falange proximal do polegar	Similar a *C. libidinosus*	Ausente
	Inserção distal	Cápsula articular da articulação trapézio-metarcárpico I e base deste último osso			
	Inervação	n. interósseo posterior			
	Vascularização	a. interóssea posterior			

* Fonte: GRAY (2000); ** Fonte: SWINDLER & WOOD (1973).

Anatomia e aspectos comportamentais e cognitivos de Cebus

A maior similaridade da musculatura extensora do antebraço em *C. libidinosus* a chimpanzés e humanos em relação a babuínos putativamente justifica a maior habilidade manual do *Cebus* spp. e do chimpanzé, pois tais músculos agem na mão.

As descrições deste trabalho revelaram que os músculos extensores do antebraço relacionados aos movimentos de preensão da mão em *C. libidinosus* são semelhantes aos já relatados em humanos, chimpanzés e babuínos. Entretanto, os músculos mais especializados, responsáveis pelos movimentos de precisão, tais como os extensores do dedo indicador, do dedo mínimo e do polegar (no caso o m. extensor curto do polegar) estão presentes em humanos e chimpanzés e *C. libidinosus*, mas não em babuínos. Estes últimos são os primatas que possuem menor índice de encefalização entre os citados nesse estudo (PAIVA, 1998).

Os achados relativos aos músculos do antebraço colocam o *C. libidinosus* evolutivamente mais próximo aos humanos e chimpanzés do que dos babuínos, devido à separação dos músculos e aos tendões extensores. HOWELL & STRAUS (1933) mencionaram que o grupo de músculos extensores do antebraço de primatas é derivado de um músculo extensor comum primitivo com tendões enviados ao polegar, ao dedo mínimo, ao indicador e aos outros dedos sem distinção em sua porção carnosa. Os babuínos, com exceção do músculo extensor longo do polegar, não apresentam separação evidente entre os músculos extensor próprio do indicador, extensor próprio do dedo mínimo e extensor curto do polegar.

As informações obtidas nessa pesquisa são relevantes para a correlação filogenética e evolucionária, além de corroborarem a hipótese da associação entre habilidades manuais e cognitivas no curso evolutivo dos primatas. A semelhança anatômica entre *C. libidinosus* e chimpanzés demonstra que essas espécies evoluíram de forma convergente, sendo que os coincidentes aspectos de habilidade manual se devem principalmente às similaridades estruturais dos músculos, mais especificamente dos que agem nos dedos, no caso dos músculos extensores profundos do antebraço. Ainda, tais achados

podem ser aplicados para a proximidade dos índices de encefalização para o chimpanzé e o *Cebus* spp. (KUDO & DUNBAR, 2001; ROTH & DICK, 2005).

Desde que a árvore evolutiva da ordem Primata se dividiu há 30 milhões de anos (BYRNE, 2000) e separou o ancestral do *Cebus* spp. do ancestral dos símios e hominídeos em primatas do Novo e do Velho Mundo, há questões a serem respondidas. Os resultados apresentados podem indicar um importante aspecto evolucionário, pois parece ter ocorrido, ao mesmo tempo, uma evolução convergente e uma divergente em dois aspectos: uma para o uso de ferramentas, idêntica para chimpanzés e *Cebus* spp. e, a outra divergente para a locomoção, pelas similaridades entre babuínos e *Cebus* spp..

CONCLUSÃO

Existe mais semelhança entre os músculos extensores do antebraço de *C. libidinosus* e chimpanzé do que entre os de *C. libidinosus* e o homem. A maior diversidade foi constatata em relação ao relatado para babuínos, especialmente nos músculos profundos. A forma e individualização dos músculos do antebraço de *C. libidinosus*, bem como o padrão de distribuição dos tendões de inserção distal nos ossos da mão, podem explicar algumas das limitações do *Cebus* spp. em executar movimentos considerados complexos; entretanto, o seu elevado índice de encefalização, semelhante ao de chimpanzés, permite inferir a relação das habilidades manuais com os aspectos comportamentais e cognitivos convergentes entre esses primatas.

REFERÊNCIAS

1. ANTINUCCI, F.; VISALBERGHI, E. Tool use in *Cebus apella*: a case study. **International Journal of Primatology**, New York, v. 7, n. 4, p. 351-363, 1986.

2. AVERSI-FERREIRA, T. A. Comparative anatomical description of forearm and hand arteries of *Cebus libidinosus*. **Internacional Journal of Morphology**, Santiago, v. 27, n. 1, p. 219-226, 2009.

3. AVERSI-FERREIRA, T. A.; LIMA-E-SILVA, M. S.; PEREIRA-DE-PAULA, J.; GOUVÊA-E-SILVA, L. F.; PENHA-SILVA, N. Anatomia comparativa dos nervos do braço de *Cebus apella*. Descrição do músculo dorsoepitroclear. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, n. 3, p.291-296, 2005a.

4. AVERSI-FERREIRA, T. A.; AVERSI-FERREIRA R. A. G. M. F.; SILVA, Z.; GOUVÊA-E-SILVA, L. F.; PENHA-SILVA, N. Estudo anatômico de músculos profundos do antebraço de *Cebus apella* (Linnaeus, 1766). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 297-301, 2005b.

5. AVERSI-FERREIRA, T. A.; VIEIRA, L. G.; PIRES, R. M.; SILVA, Z.; PENHA-SILVA, N. Estudo comparativo entre os músculos flexores superficiais do antebraço de macaco *Cebus* e do homen. **Bioscience Journal***,*Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 139-144, 2006.

6. AVERSI-FERREIRA, T. A.; PEREIRA-DE-PAULA, J.; LIMA-E-SILVA, M. S.; PRADO, Y. C. L.; SILVA, Z. Estudo anatômico das artérias do ombro de *Cebus libidinosus* (Rylands, 2000; *PRIMATES – CEBIDAE).* **Ciência Animal Brasileira***,* Goiânia, v. 8, n. 2, p. 272-284, 2007a.

7. AVERSI-FERREIRA, T. A.; PEREIRA-DE-PAULA, J.; PRADO, Y. C. L.; LIMA-E-SILVA, M. S., MATA, J. R. Anatomy of the shoulder and arm muscles of *Cebus libidinosus*. **Brazilian Journal of Morphological Science**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 63-74, 2007b.

8. BRESEIDA, D. R.; OTTONI, E. B. Observational learning in the manipulation of a problem-box by tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Revista de Etologia**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 3-13, 2001.

9. BYRNE, R. W. Evolution of primate cognition**. Cognitive Science**, Austin, v. 24, n. 3, p. 543-570, 2000.

10. CHAMPNEYS F. On the muscles and nerves of a chimpanzee (*Troglodytes niger*) and a *Cynoephalus anubis*. **Journal of Anatomy and Physiology**, London, v. 6, n. 1, p. 176-211, 1871.

11. CHRISTEL, M.; FRAGASZY, D. Manual function in Cebus paella. Digital mobility, preshaping, and endurance in repetitive grasping. **International Journal of Primatology**, New York, v. 21, n. 4, p. 697-719, 2000.

12. COSTELLO, M.B.; FRAGASZY, D.M. Prehension in Cebus and Saimiri: Grip type and hand preference. **American Journal of Primatology**, New York, v. 15, n. 3, p. 235–245, 1988.

13. FLEAGLE, J. G. The primate body. In: ____ **Primate Adaptation and Evolution**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1999. cap. 2, p. 10-46.

14. FRAGASZY, D. M.; VISALBERGHI, E.; FEDIGAN, L. M. **The Complete Capuchin. The biology of the genus *Cebus***. Cambrigde: Cambrigde University Press, 2004, 339p.

15. GRAY, H: **Anatomy of Human Body**. Philadelphia: Lea & Febiger, 1918., Bartleby, 2000. Disponível em: www.bartleby.com/107/.

16. GARDNER, E.; GRAY, D. J.; O'RAHILLY, R. A mão. In: ____ **Anatomia Estudo regional do corpo humano**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. cap. 16, p.139-156.

17. HOWELL, B.; STRAUS, Jr. W. L. The muscular system. In: ___ **The Anatomy of Rhesus Monkey**. Baltimore: Willians & Wilkins, 1933, p. 89-175.

18. KINDLOVITS, A. **Clínica e Terapêutica em Primatas Neotropicais**. 1999. Juiz de Fora: Editora UFJF, 1999. 259 p.

19. KUDO, H.; DUNBAR, R. I. M. Neocortex size and social network size in primates. **Animal Behaviour**, London, v. 62, n. 4, p. 711–722, 2001.

20. LEMON, R. N. Cortical control of the primate hand. **Experimental Physiology**, New York, v. 78, n. 3, p. 263–301, 1993.

21. LOPES, R. J. Gênio da selva. **Scientific American Brasil**. São Paulo, v. 27, p. 25-32, ago. 2004.

22. MARIN, K. A.; CARNEIRO-E-SILVA, F. O.; CARVALHO, A. A. V.; NASCIMENTO, G. N. L.; PRADO, Y. C. L.; AVERSI-FERREIRA, T. A. Anatomy of the nervous of forearm and hand of *Cebus libidinosus* (Rylands, 2000). **International Journal of Morphology**, Santiago, v 27, n. 3, p. 635-642, 2009.

23. MENDES, F. D. C; MARTINS L. B. R.; PEREIRA J. A.; MARQUEZAN R. F. Fishing with a bait: a note on behavioral flexibility in *Cebus apella.* **Folia Primatologica**, Basel, v. 71, n. 5, p. 350-352, 2000.

24. MOULIAS, R.; BERAT-MULLER, C. N. The use of monkeys in medical research. **Presse Med**, Paris, v. 76**,** n. 24, p. 1201-1202, 1968.

25. OTTONI, E. B.; RESENDE, B. D.; MANNU, M.; AQUINO, C. M. C.; SESTINI, A. E.; IZAR, P. Tool use, social structure, and information transfer in capuchin monkeys. **Advances in Ethology** (Supplement to Ethology - Contributions to the XXVII International Ethological Conference), v. 36, p. 234, 2001.

26. PAIVA, M. J. A. F. D. **Causas e conseqüências da encefalização nos hominídeos**. Departamento de Antropologia da Universidade de Coimbra; 1998. Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt/wwwantr/areas/paleontologia/encefal/textos/html/causas%20e%20consequencias.htm>.

27. PEREIRA-DE-PAULA, J.; PRADO, Y. C. L.*;* TOMAZ, C. A. B.; AVERSI-FERREIRA, T. A. Anatomical study of the main sulci and gyri of the *Cebus*

libidinosus (Rylands, 2000) brain. **Neurobiologia Journal**, Recife, v. 73, n. 2, p. 65-78, 2010.

28. RESENDE, B. D.; OTTONI, E. B. Brincadeira e aprendizagem do uso de ferramentas em macacos-prego (*Cebus apella*). **Estudos em Psicologia**, Natal, v. 7, n.1, p. 173-180, 2002.

29. RESENDE, M. C.; TAVARES, M. C. H.; TOMAZ, C. Ontogenetic dissociation between habit learning and recognition memory in capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Neurobiology of Learning and Memory**, Orlando, v. 79, p.19–24, 2003.

30. ROTH, G.; DICKE, U. Evolution of the brain and intelligence. **Trends in Cognitive Sciences**, London, v. 9, n. 5, p. 250-257, 2005.

31. SHINODA Y.; YOKOTA J. L.; FUTAMI T. Divergent projection of individual corticospinal axons to motoneurons of multiple muscles in the monkey. **Neuroscience Letters**, Limerick, v. 23, n. 1, p. 7–21, 1981.

32. SPINOZZI, G.; TRUPPA, V.; LAGANA, T. Grasping behavior in tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*): grip types and manual laterality for picking up a small food item **American Journal of Physical Anthropology**, Washington, v. 125, n. 1, p. 30-41, 2004.

33. SWINDLER D. R.; WOOD C. D. Superior member. In:___ **An Atlas of Primate Gross Anatomy**, Washington: University of Washington Press, 1973, p. 148-155.

34. TAVARES, M. C. H.; TOMAZ, C. A. B. Working memory in capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Behavioral Brain Research**, Amsterdam, v. 131, n. 1-2, p. 131-137, 2002.

35. TESTUT, L.; LATARJET, A. Músculos do membro superior. In:____ **Tratado de Anatomia Humana**. Barcelona: Salvat, 1959, p. 997-1095.

36. TUTLE, R. H. Quantitative and functional studies on the hands of the anthropoidea. I. The Hominoidea. **Journal of Morphology**, New York, v. 128, n. 3, p. 309-364, 1969.

37. WAGA, I. C., DACIER, A. K., PINHA, P. S.; TAVARES, M. C. H. Spontaneous tool use by wild capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) in the cerrado. **Folia Primatologica**, Basel, v. 77, n. 5, p. 337-344, 2006.

38. WESTERGAARD, G. C.; FRAGASZY, D. M. The manufacture and use of tools by capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 101, n. 2, p. 159-168, 1987.

39. WIZEMANN, T. M.; PARDUE, M. L. **Exploring the Biological Contributions to Human Health. Does Sex Matter?** Washington: National Academy Press, 2001, p. 1-27.

CAPÍTULO 3 – Citoarquitetura do neocórtex occipital de *Cebus libidinosus*

Cytoarquitecture of the occipital neocortex of the *Cebus libidinosus*

RESUMO

Os primatas são caracterizados pelo maior tamanho do cérebro, pelo aprimoramento de habilidades manipulativas e cognitivas e desenvolvimento de comportamento social complexo. Estas peculiaridades evoluíram principalmente com a associação de alterações no sistema visual e expansão do córtex cerebral. Este trabalho procurou descrever a arquitetura do neocórtex occipital de *Cebus libidinosus* usando a técnica Golgi-Cox, para contribuir na construção do mapa cortical para a espécie. Os lobos occipitais de três espécimes de *C. libidinosus* foram processados seguindo a técnica de Golgi-Cox, e imagens foram avaliadas sob os aspectos qualitativos e quantitativos. Foram avaliados os seguintes aspectos: forma, localização dos tipos de neurônios nas camadas corticais, prolongamentos e número de neurônios do lobo occipital. No neocórtex occipital estão situadas as áreas visuais primárias e secundárias e, em *C. libidinosus*, a organização histológica destas áreas apresenta, tal como em outros primatas não-humanos e o homem, a predominância de neurônios granulares e a presença de estrias de Baillarger na quarta camada. As observações indicam que citoarquitetura cortical occipital de *C. libidinosus* é semelhante aos humanos. O emprego da técnica de Golgi-Cox permitiu a visualização individual dos neurônios e seus prolongamentos, entretanto quanto à análise quantitativa apresenta como limitação a dificuldade em diferenciar células neuronais e não-neuronais. Estes dados permitirão futuras comparações entre diferentes áreas corticais de *Cebus* spp. e outros primatas.

Palavras-chave: Cérebro, córtex visual, Golgi-Cox, macaco-prego, primata não-humano

ABSTRACT

Primates are known for larger brain size, enhanced handling and cognitive abilities and increasingly complex social behavior. These features evolved mainly from the association of changes in the visual system and brain cortex expansion. This work aimed to describe the architecture of the occipital neocortex of *Cebus libidinosus* through the Golgi-Cox method, to contribute to the assembling of a cortical map of the species. Occipital lobes from three *C. libidinosus* individuals were processed by employing the Golgi-Cox method and the resulting images were analyzed under qualitative and quantitative aspects. Primary and secondary visual areas are located in the occipital neocortex, and in *C. libidinosus*, the histological organization of these areas is similar to humans and other primates and it is characterized by the predominance of granular neurons and the presence of transversal fibers in the fourth layer. Taken together, the observations indicated

that the microscopic occipital cortical architecture of *C. libidinosus* is similar to humans. Although the Golgi-Cox method allowed individual observation of neurons and their extensions, the weak distinction between neurons and glial cells impaired neuron counting. These data, nevertheless, will grant further cell density comparison of other cortical areas between *Cebus* spp. and other primates.

Key words: Brain, capuchin monkey, Golgi-Cox, nonhuman primate, visual cortex

INTRODUÇÃO

Designados “macacos-prego”, os primatas neotropicais do gênero *Cebus* são reconhecidamente adaptáveis a diversas condições ambientais, inclusive no que se refere ao convívio com humanos, em grande parte devido a sua flexibilidade comportamental e capacidades cognitivas (SIEMERS, 2000; FRAGASZY, et al. 2004).

Dessa forma, muitos estudos sobre comportamento, memória, ecologia e fisiologia de *Cebus* spp. são conduzidos no intuito de elucidar comportamentos considerados complexos na ordem dos primatas (ANTINUCCI & VISALBERGHI, 1986; GARBER, 1987; WESTERGAARD & FRAGASZY, 1987; COSTELLO & FRAGASZY, 1988; AURICCHIO, 1995; PAIVA, 1998; BRESEIDA & OTTONI, 2001; RESENDE & OTTONI, 2002; TAVARES & TOMAZ, 2002; LIMA et al., 2003; LOPES 2004).

O córtex cerebral, também denominado neocórtex, é a unidade funcional do tecido neural responsável por receber, analisar e armazenar informações, produzindo o comportamento derivado (LURIA, 1981). O neocórtex occipital é a região cerebral correspondente à atividade visual e, em humanos, suas conexões com os córtices adjacentes (parietal e temporal) também estão relacionadas com a leitura, escrita e memória (NEHMAD, 1998).

O estudo da citoarquitetura cortical humana, provenientes das descrições detalhadas de BRODMANN (1909), ainda hoje é utilizado como base para toda e qualquer análise eletrofisiológica e imagenologia de áreas corticais, sendo essencial na construção de mapas corticais. Não obstante, essas análises permitem correlacionar os aspectos evolutivos estruturais que norteiam o comportamento das espécies.

Em *Cebus*, o neocórtex occipital foi caracterizado funcionalmente como córtices visuais primário e secundário, e estruturas terciárias associadas às funções complexas (GATTASS et al., 1987; ROSA et al., 1988; PIÑON et al., 1998) correspondendo às áreas 17, 18 e 19 de Brodmann, respectivamente.

Os lobos occipital e frontal de *Cebus libidinosus* foram considerados lissencéfalos por PEREIRA-DE-PAULA et al. (2010). De acordo com RILLING & INSEL (1999), o baixo grau de girencefalia dos cérebros de *Cebus*, como um todo, pode ser devido a um crescimento reduzido das camadas corticais externas e baixa conectividade entre áreas corticais, associado a um maior desenvolvimento de camadas internas e aumento de projeções cortico-espinhais.

Comparando primatas neotropicais com babuíno e rhesus, HERCULANO-HOUZEL et al. (2008) encontraram as mais altas densidades neuronais em *Saimiri sciureus*, *Cebus apella* e *Callithrix jacchus*, em que a relação neurônio/área cortical pode ser elevada justamente por esta característica, e reforçaram a necessidade de uma análise comparativa sobre a composição celular cerebral para estas espécies.

Estudos que utilizam técnicas de imagem ou registros eletrofisiológicos em primatas não-humanos têm sido levados a termo (RILLING & INSEL, 1999; ROESCH & OLSON, 2003; ROTH & DICKE, 2005; PADBERG et al., 2007; HERCULANO-HOUZEL et al., 2008). Contudo, utilizando técnicas histológicas *post-mortem*, que são por vezes negligenciadas, é possível prover caracterizações pormenorizadas dos tipos de córtex baseadas na organização das camadas e tipos celulares predominantes nas diversas áreas funcionais do cérebro.

O método de Golgi proporciona uma análise qualitativa única na visualização de dendritos e espículas dendríticas de neurônios e, quanto à análise quantitativa, é também considerado útil porque impregna aparentemente uma subpopulação neuronal de aproximadamente 5%. Estas análises podem ser feitas por microscopia de luz ou eletrônica e/ou combinada a imunoistoquímica (ROSOKLIJA et al., 2003).

O objetivo deste estudo foi descrever a citoarquitetura do neocórtex occipital de *Cebus libidinosus* usando a técnica Golgi-Cox, avaliando a viabilidade

da técnica quanto às análises qualitativas e quantitativas que esta proporciona na impregnação de neurônios.

MATERIAL E MÉTODOS

***Amostras* -** três encéfalos de *Cebus libidinosus* foram obtidos de animais que sofreram acidentes nas imediações do campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás (UFG) e de um espécime doado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa e aprovado, segundo o número CoEP-UFG 81/2008. Os animais utilizados na pesquisa encontram-se depositados nas coleções anatômicas do Laboratório de Neurociência e Comportamento de Primatas (NECOP) da Universidade Federal de Goiás para posteriores estudos acerca de sua anatomia.

***Solução de Golgi-Cox* -** a solução fixadora e contrastante foi confeccionada segundo o método de Golgi-Cox descrito por RAJU & SHANAKRANARAYANA RAO (2004).

Após a preparação, a solução era mantida em frascos protegidos de luminosidade por pelo menos duas semanas e previamente filtrada para eliminar resíduos.

***Dissecação e processamento histológico* -** os encéfalos foram retirados do crânio por dissecação cuidadosa e os hemisférios cerebrais foram separados do cerebelo e tronco encefálico após o corte sagital dos mesmos. O sulco central, o sulco lunnatus e a fissura lateral foram usados como referência para a separação dos lobos frontal, parietal, occipital e temporal (Figura 1). Então, separadamente, os lobos foram envolvidos em algodão e mergulhados na solução de Golgi-Cox, numa proporção fragmento:solução de 1:10.

A solução foi trocada após cinco dias. Após um período mínimo de três semanas de impregnação após a troca, alguns cortes coronais dos lobos foram feitos com auxílio de lâminas de barbear. Essas fatias eram umedecidas com amônia a 60% sobre uma lâmina e observadas em microscópio de luz para verificar se os prolongamentos dos neurônios estavam bem evidenciados, o que indicava o momento de iniciar a inclusão do material. A solução de Golgi-Cox não

era reaproveitada. Para este estudo, somente o neocórtex do lobo occipital foi analisado.

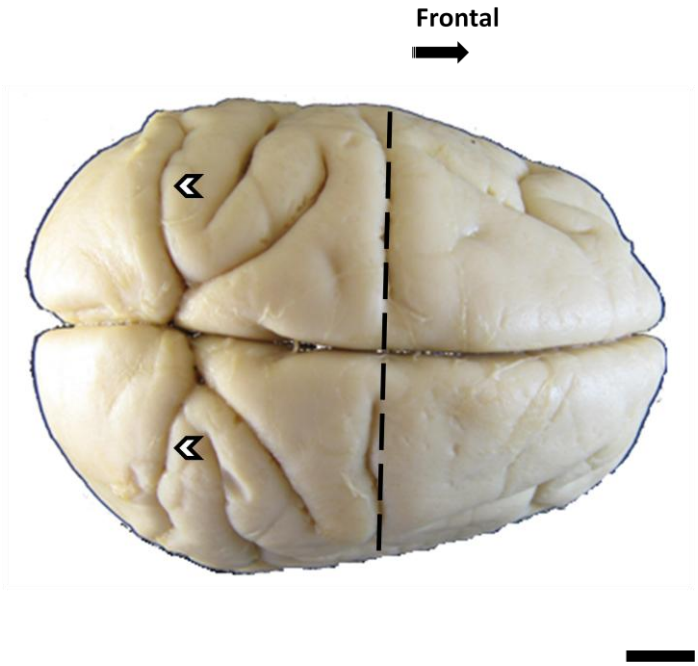

FIGURA 1 – Hemisférios cerebrais de *C. libidinosus*. A linha tracejada evidencia a delimitação dos lobos frontal e parietal pelo sulco central e as cabeças de seta indicam a delimitação dos lobos occipital e parietal pelo sulco lunnatus. Barra=1,35cm.

Os passos de desidratação e inclusão estão descritos como segue: etanol 50% por 1h; etanol 70% por 1h; etanol 95% por 1h; etanol-éter (1:1) por 40 minutos; etanol-cetona (1:1) por 40 minutos; duas passagens por xilol por 10 minutos cada; inclusão *overnight* em parafina. Este protocolo foi previamente testado e comparado com duas outras variações (LIMA et al., 2009). O material incluso em parafina foi submetido a cortes seriados de 50μm e foram confeccionadas lâminas com três cortes cada. Os cortes foram analisados via microscópio de luz associado a um computador com software de captura de imagens (Leica Aplication Suite).

Análises qualitativa e quantitativa dos neurônios – todos os cortes foram fotomicrografados.

As análises foram realizadas utilizando os softwares ImageJ 1.40. Foram avaliados os seguintes aspectos: forma, localização dos tipos de neurônios nas camadas corticais, prolongamentos e número de neurônios do lobo occipital.

A escolha de 22 fotomicrografias para contagem de neurônios baseou-se na visualização mais nítida dos corpos neuronais, seus prolongamentos e disposição nas camadas. Para a contagem do número absoluto de neurônios, a área de 657.072µm^2 (ou 0,66mm^2), correspondente ao tamanho da imagem em aumento de 100X foi considerada.

O número obtido na contagem foi comparado ao resultado de 121,73 ± 66,80 neurônios/mm^2 da superfície cortical de *C. apella* (HERCULANO-HOUZEL et al., 2008) a fim de constatar se 5% de neurônios impregnados por Golgi-Cox equivalem ao referido número (considerando que 100% dos neurônios foram contados em 1 mm^2 e, dessa forma, 5% de 121,73 é igual a 6 neurônios/mm^2) obtido pela técnica do fracionador isotrópico (HERCULANO-HOUZEL & LENT, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise qualitativa

A técnica de Golgi-Cox empregada proporcionou a visualização das camadas do neocórtex occipital de *C. libidinosus*. Entretanto, a distinção entre as seis camadas não foi tão evidente, principalmente entre as II e III – granular externa e piramidal externa – e, V e VI – piramidal interna e multiforme (Figura 2).

Nas áreas de projeção sensitiva primária, tal como o córtex visual, os neurônios granulares são predominantes, exceto na primeira – molecular – onde não se observa corpos celulares.

Diversos estudos já foram realizados para verificar a homologia do córtex occipital entre primatas não-humanos e humanos, principalmente

concernente aos aspectos funcionais desse córtex (ESSEN et al., 2001; PITZALIS et al., 2006; GUR & SNODDERLY, 2008), mas esse é o primeiro estudo morfológico com uso da técnica de Golgi-Cox feito em *Cebus* spp..

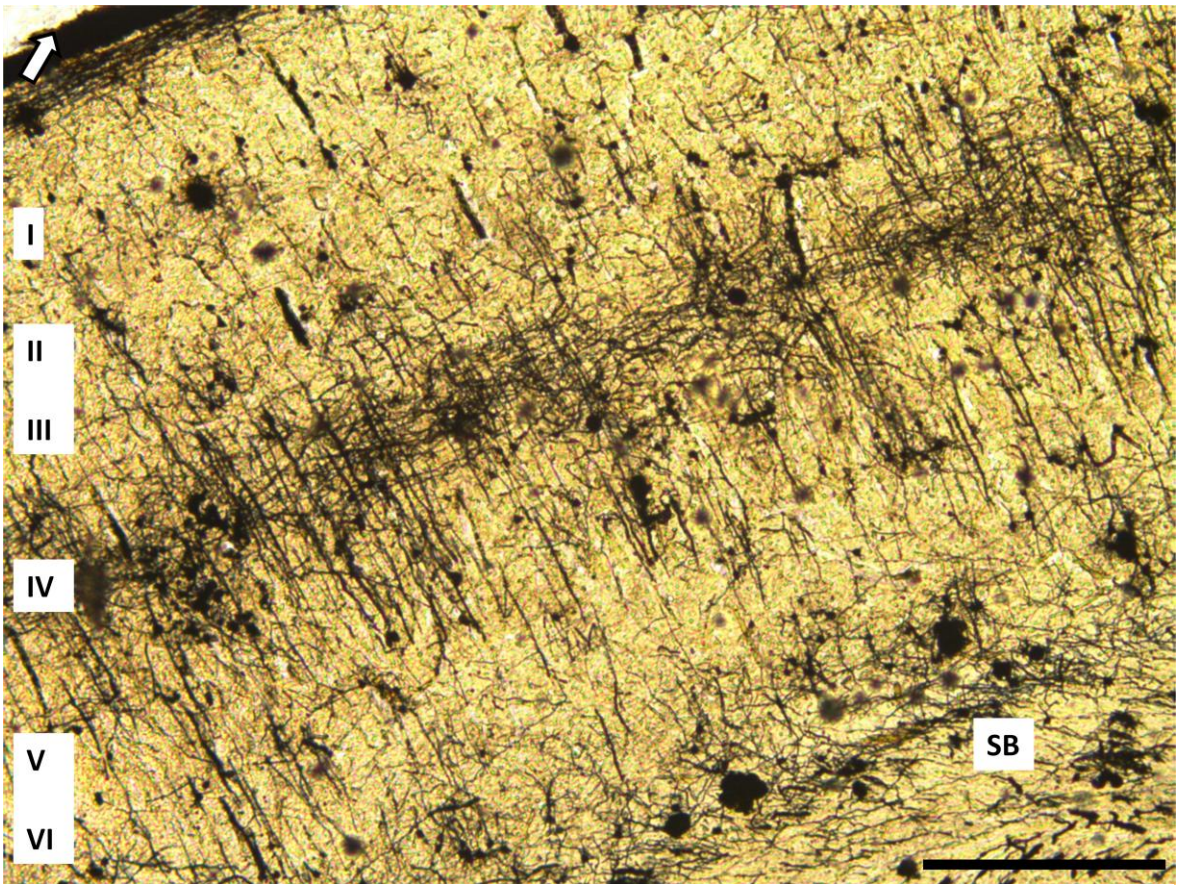

FIGURA 2 – Fotomicrografia de neocórtex occipital de *C. libidinosus* indicando as seis camadas. A seta aponta a superfície da piamater. *SB* (substância branca) (50X). Barra=400µm.

Das várias técnicas utilizadas para marcação não radioativas de neurônios, o método de Golgi é a que apresenta maior versatilidade para a visualização histológica de neurônios. Neste estudo, o material impregnado foi proveniente de tecido fresco, pois, para a variável Golgi-Cox, este diferencial promove uma melhor individualização das células e seus prolongamentos, corroborando com os resultados de ZHANG et al. (2003), que analisaram o neocórtex humano.

Com relação à morfologia dos neurônios, foi possível diferenciar nitidamente neurônios granulares e piramidais, seus prolongamentos e distribuição nas camadas (Figura 3 e 4).

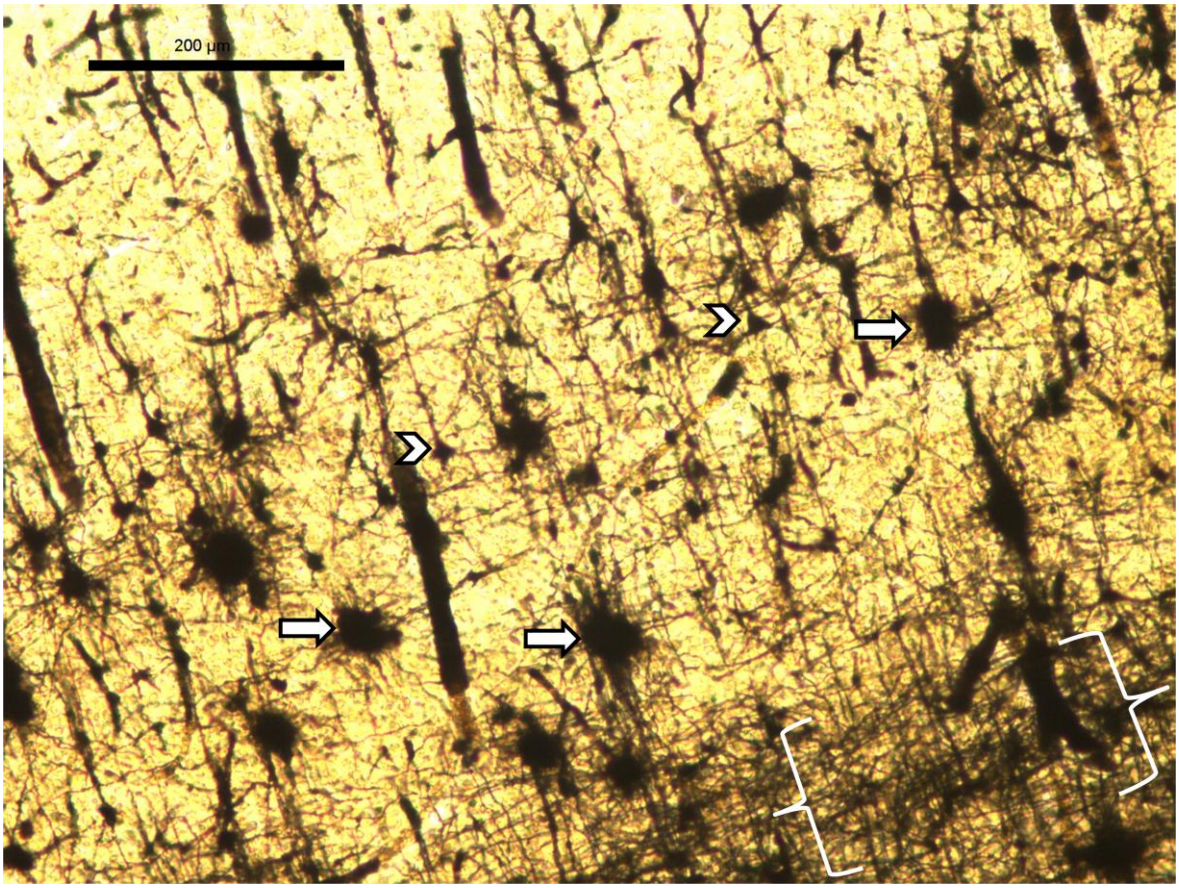

FIGURA 3 – Fotomicrografia de neocórtex occipital de *C. libidinosus* evidenciando corpos de neurônios granulares (setas), neurônios piramidais (cabeças de seta) e estrias de Baillarger (entre chaves brancas) (100X). Barra=200µm.

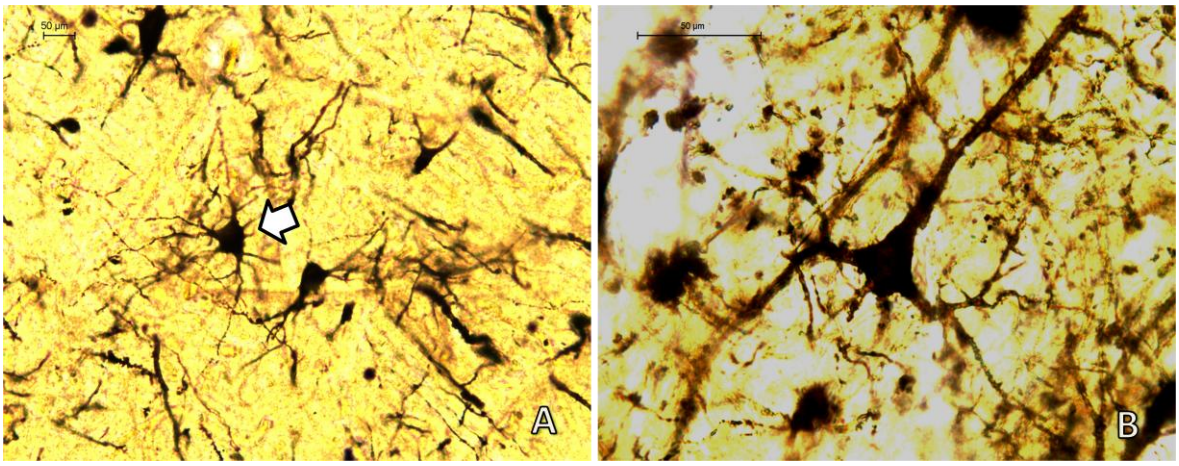

FIGURA 4 - Fotomicrografias de neocórtex occipital de *C. libidinosus* mostrando as diferentes morfologias de neurônios. Em (A), a seta indica um neurônio granular das camadas II/III (100X) e, em (B) o detalhe do corpo de um neurônio piramidal das camadas II/III. (200X). Barras=50µm.

As áreas primárias do córtex occipital, que correspondem à área 17 de Brodmann, são aquelas onde terminam vias procedentes da retina (MACHADO, 1999). Macroscopicamente, estas vias conferem aspecto estriado a esta região e histologicamente é característica a presença de muitas fibras tangenciais, denominadas estrias de Baillarger. No neocórtex occipital de *C. libidinosus*, estas fibras estavam dispostas na camada IV (Figura 5).

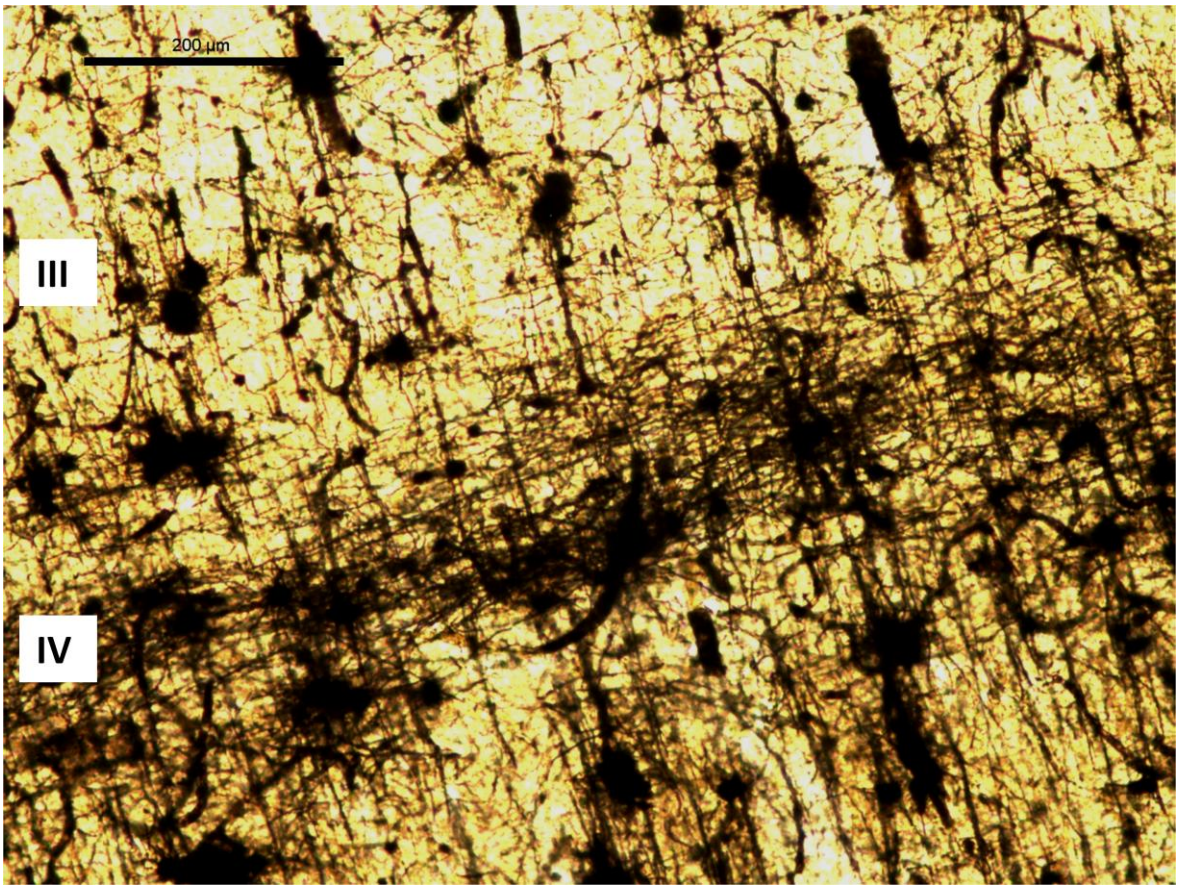

FIGURA 5 - Fotomicrografia de neocórtex occipital de *C. libidinosus* demonstrando a disposição das fibras transversais (estrias de Baillarger) na camada IV. Neurônios do tipo granular são predominantes também na camada III (100X). Barra=200µm.

No córtex occipital humano, as estrias de Baillarger, constituem uma rede de conexões neurais da área visual primária com áreas secundárias e terciárias, e estão localizadas nas camadas IV e V (estrias externa e interna, respectivamente). As células presentes nessas estrias respondem a pontos de luz, independentemente da orientação, do movimento e velocidade da mesma

(NEHMAD, 1998). Em *C. Iibidinosus,* as estrias estavam dispostas em uma única rede tangencial na maioria das fotomicrografias analisadas indicando que, como ocorre em outros primatas não-humanos, a área visual primária é mais extensa que a secundária (GATTASS et al., 1987; ROSA et al. 1988). No homem, há uma inversão da extensão destas áreas (LURIA, 1981).

Em *Cebus apella*, o mapeamento das áreas visuais V1 (GATASS et al., 1987), V2 (ROSA et al., 1988) e V4 (PIÑON et al., 1998) apontaram a semelhança destas áreas com àquelas de *Macaca fascicularis*. Os autores atribuíram tal similaridade aos aspectos comportamentais como os hábitos diurnos e as atividades manipulativas, corroborados por trabalhos anteriores sobre o tamanho do cérebro e os padrões de distribuição dos sulcos para ambas as espécies.

Neste estudo, embora os cortes do lobo occipital não tenham seguido rigorosamente a delimitação das áreas visuais, pode-se inferir que, a organização da citoarquitetura revelada pela técnica de Golgi-Cox confirmou a maior extensão das áreas visuais primárias em *C. libidinosus*. Além disso, as células da camada IV, conhecida por estação receptora do córtex, são nitidamente predominantes no córtex visual primário e, muito menos numerosas no córtex visual secundário (área 18 de Brodmann), onde a maioria das células se localiza nas camadas II e III (ROSA et al., 1988).

Estudos que contemplem aspectos psico-fisiológicos da percepção visual em primatas necessitam ser realizados. MATSUNO & FUJITA (2009) ressaltaram que, embora as variações nas funções visuais causadas por diferenças anatômicas entre primatas humanos e não-humanos não tenham sido claramente identificadas, tais variações devem ser consideradas, notavelmente sob os aspectos cognitivos. A percepção visual do ambiente e do comportamento de outros indivíduos difere entre os primatas, e está intimamente relacionada à primeira fase do processamento cortical da informação visual.

Análise quantitativa

Para HERCULANO-HOUZEL et al. (2007) é importante salientar que a significância cognitiva e ecológica de diferentes espécies, no que se refere ao

tamanho do cérebro, deveria ser reavaliada por exame direto do número de células neuronais e não-neuronais, e não somente pelo volume e área de superfície do cérebro.

Algumas limitações do método de Golgi foram previamente relatadas, desde o processamento de amostras até as interpretações derivadas (ANDERSON & FELTEN, 1982; ROSOKLIJA et al., 2003; ZHANG et al., 2003), mas neste estudo a maior limitação a ser considerada foi a contagem das células.

A impregnação individual de neurônios e seus prolongamentos utilizando a técnica de Golgi-Cox proporcionou a contagem das células. A média do número absoluto de neurônios das imagens de neocórtex occipital de *C. libidinosus* analisadas foi igual a 39,43 ± 7,33 e, quando convertido para número neurônios/mm^2, o resultado foi de aproximadamente 60 neurônios/mm^2. Esta conversão foi efetuada com a intenção de responder a seguinte questão – Os 5% de neurônios impregnados reflete o número de neurônios/área (mm^2) já encontrados para *Cebus* spp.?

Quando comparada com a média do número de neurônios/mm^2 encontrada por HERCULANO-HOUZEL et al. (2008) para *Cebus apella,* os resultados divergiram em cerca de 10 vezes mais neurônios no córtex occipital de *C. libidinosus*. Portanto, com relação à análise quantitativa proporcionada pela impregnação de Golgi, é prudente ressaltar que esta técnica provavelmente não permite contagens fidedignas no número de células e relação neurônios/células gliais e, outras técnicas deverão ser empregadas para a confirmação destes dados.

Como referido por ANDERSON & FELTEN (1982), verificou-se que a diferenciação entre neurônios e células gliais pode ser confusa com esta técnica. A princípio, utilizou-se como parâmetro a diferença na proporção entre os tamanhos dos corpos celulares. Os corpos celulares de células gliais são significativamente menores que os corpos de neurônios (MACHADO, 1999). Além disso, corpos celulares e/ou disposição de prolongamentos cuja visualização pudesse ser confundida, como demonstrado na figura 6, não foram contados.

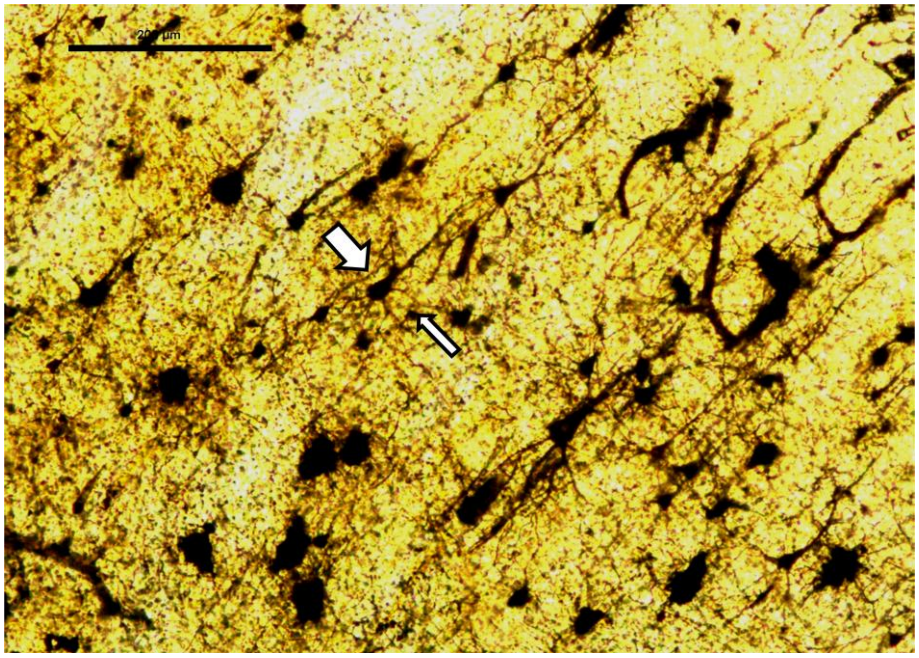

FIGURA 6 – Fotomicrografia de neocórtex occipital de *C. libidinosus*. A seta maior (à esquerda) aponta o corpo celular de um neurônio piramidal e seta menor (à direita) aponta o corpo de uma célula não-neuronal (100X). Barra=200µm.

Alguns outros critérios podem orientar a diferenciação entre neurônios e células gliais, como citado por PAKKENBERG & GUNDERSEN (1997) e DOMBROWSKI et al. (2001) em coloração de Giemsa e Nissl, onde os neurônios apresentam núcleo com nucléolo em posição central e citoplasma bem definidos e, células gliais apresentando grumos de heterocromatina e citoplasma esparso. Estas características não podem ser observadas com qualquer variante do método de Golgi. Para CHRISTENSEN et al. (2007) a distinção entre pequenos neurônios e grandes células gliais pode ser desafiadora, principalmente em colorações do córtex occipital.

Considerando os resultados discrepantes das contagens, aliado aos aspectos supracitados, pode-se avaliar que a técnica de Golgi-Cox, tal como foi utilizada, inferiu subjetividade na obtenção do número de neurônios.

Embora HERCULANO-HOUZEL et al. (2008) não tenham considerado a diferença na densidade de diferentes áreas corticais, concluíram que a diferença não está no número de neurônios relacionada a espessura, massa ou

volume de uma determinada área cortical, mas, provavelmente, no maior número de colunas corticais, aumentando assim a conectividade entre as diversas áreas.

Discussões acerca das características qualitativas e quantitativas das estruturas neurais foram previamente revistas por RILLING & INSEL (1999) e ROTH & DICKE (2005) sem que pudessem explicar unicamente os fenômenos que destacam os primatas humanos dos não-humanos e estes, dos demais mamíferos. Uma explicação seria a maior proporção de substância branca de áreas associativas, e estas devem incluir as áreas visuais, uma vez que os primatas têm na visão o sentido mais utilizado para a sobrevivência e a vida de relação.

As observações de comportamento complexo e, não obstante, o alto índice de encefalização do *Cebus* spp. (AREIA, 1995) denotam a necessidade de se fornecer um mapa citoarquitetônico, baseado não somente na morfologia e número de células, mas também na fisiologia detalhada das diversas áreas corticais, para buscar na estrutura neural as possíveis justificativas comportamentais e habilidades desse primata.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados indicam que a citoarquitetura do neocórtex occipital de *C. libidinosus* é semelhante à de outros primatas com relação à disposição das células nas camadas, bem como à predominância de neurônios granulares nas mesmas. A organização celular e a presença das estrias de Baillarger caracterizaram a área visual primária neste córtex. A impregnação pela técnica de Golgi-Cox mostrou-se muito informativa quanto a caracterizações qualitativas do córtex cerebral; entretanto, quanto à análise quantitativa apresenta como limitação a dificuldade em diferenciar células neuronais e não-neuronais. Pode-se considerar que essas análises são ainda incipientes em *Cebus* spp., principalmente com relação a estudos psico-fisiológicos, e estes dados permitirão futuras comparações entre outros primatas e diferentes áreas corticais, utilizando-se a impregnação pelo método Golgi-Cox e/ou comparando esta com outras técnicas.

REFERÊNCIAS

1. ANDERSON, W. J.; FELTEN, D. L. A modified Golgi-Cox technique for morphological characterization of serotonergic neurons. **The Journal of Histochemistry and Cytochemistry**, v. 30, n. 8, p. 750-755, 1982.

2. ANTINUCCI, F.; VISALBERGHI, E. Tool use in Cebus apella: a case study. **International Journal of Primatology**, New York, v. 7, n. 4, p. 351-363, 1986.

3. AREIA, M. Encefalização. Texto do Instituto Antropológico de Coimbra, Coimbra,1995.

4. AURICCHIO, P. **Primatas do Brasil**. São Paulo: Terra Brasilis, 1995. 168 p.

5. BRESEIDA, D. R.; OTTONI, E. B. Observational learning in the manipulation of a problem-box by tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Revista de Etologia**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 3-13, 2001.

6. BRODMANN, K. Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Principien, dargestellt auf grund des Zellenbaues. Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag, 1909. Tradução em inglês de GAREY, L. J. **Localization in the Cerebral Cortex by Korbinian Brodmann**. London: Smith-Gordon, 1994.

7. CHRISTENSEN, J. R.; LARSEN, K. B.; LISANBY, S. H.; SCALIA, J.; ARANGO, V.; DWORK, A. J.; PAKKENBERG, B. Neocortical and hippocampal neuron and glial cell numbers in the rhesus monkey. **The Anatomical Record**, New York, v. 290, n. 3, p. 330-340, 2007.

8. COSTELLO, M. B.; FRAGASZY, D. M. Prehension in Cebus and Saimiri: Grip type and hand preference. **American Journal of Primatology**, New York, v. 15, n. 3, p. 235–245, 1988.

9. DOMBROWSKI, S. M.; HILGETAG, C. C.; BARBAS, H. Quantitative architecture distinguishes prefrontal cortical systems in the Rhesus monkey. **Cerebral Cortex**, Cary, v. 11, n. 10, p. 975-988, 2001.

10. ESSEN, D. C. V.; LEWIS, J. W.; DRURY, H. A.; HADJIKHANI, N.; TOOTELL, R. B. H.; BAKIRCIOGLU, M.; MILLER, M.I . Mapping visual cortex in monkeys and humans using surface-based atlases. **Vision Research**, Oxford, v. 41, n.10/11, p. 1359–1378, 2001.

11. FRAGASZY, D. M.; VISALBERGHI, E.; FEDIGAN, L. M. **The Complete Capuchin. The Biology of the Genus Cebus**, Cambrigde: Cambrigde University Press, 2004, 339p.

12. GARBER, P. A. Foraging strategies among living primates. **Annual Review of Anthropology**, Palo Alto, v. 16, p. 339-364, 1987.

13. GATTASS, R.; SOUSA, A. P. B.; ROSA, M. G. P. Visual topography of V1 in the *Cebus* monkey. **Journal of Comparative Neurology**, Philadelphia, v. 259, n. 4, p. 529-548, 1987.

14. GUR, M.; SNODDERLY, D. M. Physiological differences between neurons in layer 2 and layer 3 of primary visual cortex (V1) of alert macaque monkeys, **The Journal of Physiology**, Paris, v. 586, n. 9, p. 2293–2306, 2008.

15. HERCULANO-HOUZEL, S.; LENT, R. Isotropic fractionator: a simple, rapid method for the quantification of total cell and neuron numbers in the brain. **The Journal of Neuroscience**, Baltimore, v. 25, n. 10, p. 2518 –2521, 2005.

16. HERCULANO-HOUZEL, S.; COLLINS, C. E.; WONG, P.; KAAS, J. H. The basic nonuniformity of the cerebral cortex. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of the America**, Washington, v. 105, n. 34, p. 12593-12598, 2008.

17. HONG ZHANG, S. J.; WENG, J. J. H. Does microwaving enhance the Golgi methods? A quantitative analysis of disparate staining patterns in the cerebral córtex. **Journal of Neuroscience Methods,** Amsterdam, v. 124, n. 2, p. 145-155, 2003.

18. JURMAIN, R.; KILGORE, L.; TREVATHAN, W. **Essentials of Physical Antrhopology**. Ed. Thomson Wadsworth, 2006. 441 p. 110-142.

19. LIMA, B.; FIORANI, L.; GATTASS, R. Modulation by context of a scene in monkey anterior infratemporal cortex a sacadic eye movement task. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 75, n. 1, p. 71-76, 2003.

20. LIMA, N. E.; BENICIO, C. G.; NETO, A. C. S.; NASCIMENTO, G. N. L.; AVERSI-FERREIRA, T. A. Otimização da técnica de Golgi-Cox: descrição de um caso em primata. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, 6., 2009, Goiânia. **Anais do VI CONPEEX** [on line]. Goiânia: UFG, 2009. Disponível em: http://www.ufg.br/conpeex/2009/cd-online/index.html. Acesso em: 16 mar. 2010.

21. LOPES R. J. Gênio da selva**. Scientific American Brasil**, São Paulo, v. 27, p. 25-32, 2004.

22. LURIA, A. R. As três principais unidades funcionais. In:____ **Fundamentos de Neuropsicologia**. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1981. cap. 2, p. 27-80.

23. MACHADO, A. Estrutura e funções do córtex cerebral. In:____ **Neuroanatomia Funcional**. São Paulo: Atheneu, 1999, cap. 27, p. 257-274.

24. MACKEY S., PETRIDES M. Architectonic mapping of the medial region of the human orbitofrontal cortex by density profiles, Neuroscience (2009), doi: 10.1016/j.neuroscience.2009.01.036 (in press).

25. MATSUNO, T.; FUJITA, K. A. comparative psychophysical approach to visual perception in primates, **Primates**, Inuyama, v. 50, n. 2, p. 121–130, 2009.

26. NEHMAD, L. The end in sight: a look at the occipital lobe. **Clinical Eye and Vision Care**, New York, v. 10, n. 3, p. 125-133, 1998.

27. PADBERG, J.; FRANCA, J. G.; COOKE, D. F.; SOARES, J. G. M.; ROSA, M. G. P.; FIORANI Jr, M.; GATTASS, R.; KRUBITZER, L. Parallel evolution of cortical areas involved in skilled hand use. **The Journal of Neuroscience**, Baltimore, v. 27, n. 38, p. 10106-10115, 2007.

28. PAIVA M. J. A. F. D. Causas e conseqüências da encefalização nos hominídeos. Departamento de Antropologia da Universidade de Coimbra; 1998. Disponível em:<http://nautilus.fis.uc.pt/wwwantr/areas/paleontologia/encefal/textos/html/causas%20e%20consequencias.htm>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2010.

29. PAKKENBERG, B.; GUNDERSEN, H. J. G. Neocortical neuron number in humans: effect of sex and age. **Journal of Comparative Neurology**, Philadelphia, v. 384, n. 2, p. 312-320, 1997.

30. PEREIRA-DE-PAULA, J.; PRADO, Y. C. L.; TOMAZ, C.; AVERSI-FERREIRA, T. A. Anatomical study of the main sulci and gyri of the *Cebus libidinosus* brain (Rylands, 2000). **Neurobiologia Journal**, Recife, v. 73, n. 2, p. 65-78, 2010.

31. PETRIDES, M. Lateral prefrontal cortex: architectonic and functional organization. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 360, n. 1456, p. 781-795, 2005.

32. PIÑON, M. C.; GATTASS, R.; SOUSA, A. P. B. Area V4 in Cebus monkey: extent and visuotopic organization. **Cerebral Cortex**, Cary, v. 8, n. 8, p. 685-701, 1998.

33. PITZALIS, S.; GALLETTI, C.; HUANG, R. S.; PATRIA, F.; COMMITTERI, G.; GALATI, G.; FATTORI, P.; SERENO, M. I. Wide-Field Retinotopy Defines Human Cortical Visual Area V6. **The Journal of Neuroscience**, Baltimore, v. 26, n. 30, p. 7962–7973, 2006.

34. RAJU T. R.; SHANAKRANARAYANA RAO B. S. 2004. The Golgi techniques for staining neurons. **National Institute of Mental Health and Neuro Sciences,** Bangalore, p. 108-111 (re-impresso de **Brain and Behavior** and Evolution, Basel), 2004.

35. RESENDE, B. D.; OTTONI, E. B. Brincadeira e aprendizagem do uso de ferramentas em macacos-prego (*Cebus apella*). **Estudos em Psicologia**, Natal, v. 7, n.1, p. 173-180, 2002.

36. RILLING, J. K.; INSEL, T. R. The primate neocortex in comparative perspective using magnetic resonance imaging, **Journal of Human Evolution**, London, v. 37, n. 2, p. 191–223, 1999.

37. ROESCH, M. R.; OLSON, C. R. Impact of expected reward on neuronal activity in prefrontal cortex, frontal and supplementary eye fields and premotor cortex. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 90, n. 3, p. 1766–1789, 2003.

38. ROSA, M. G. P.; SOUSA, A. P. B.; GATTASS, R.; Representation of the visual field in the second visual area in the *Cebus* monkey. **Journal of Comparative Neurology**, Philadelphia, v. 275, n. 3, p. 326-345, 1988.

39. ROSOKLIJA G.; MANCEVSKI, B.; ILIEVSKI, B. , PERERA, T.; LISANBY, S. H.; COPLAN, J. D.; DUMA, A.; SERAFIMOVA, T.; DWORK, A. J. Optimization of Golgi methods for impregnation of brain tissue from humans and monkeys. **Journal of Neuroscience Methods**, Amsterdam, v. 131, n. 1, p. 1-7, 2003.

40. ROTH, G.; DICKE, U. Evolution of th brain and intelligence. **Trends in Cognitive Science**, Cambrigde, v. 9, n. 5, p. 250-257, 2005.

41. SIEMERS, B. M. Seasonal variation in food resource and forest strata use by brown capuchin monkeys (*Cebus apella*) in a disturbed forest fragment. **Folia Primatologica**, Basel, v. 71, n. 4, p. 181–184, 2000.

42. TAVARES, M. C. H.; TOMAZ, C. A. B. Working memory in capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Behavioral Brain Research**, Amsterdam, v. 131, n. 1-2, p. 131-137, 2002.

43. WESTERGAARD, G. C.; FRAGASZY, D. M. The manufacture and use of tools by capuchin monkeys (*Cebus apella*). **Journal of Comparative Psychology**, Washington, v. 101, n. 2, p. 159-168, 1987.

44. ZHANG, H.; WENG, S-J.; HUTSLER, J. J. Does microwaving enhance the Golgi methods? A quantitative analysis of disparate staining patterns in the cerebral cortex. **Journal of Neuroscience Methods**, Amsterdam, v. 124, n. 2, p. 145-155, 2003.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado que a seleção natural age nos indivíduos e seus comportamentos derivados, é impossível que, isoladamente, uma única estrutura (neural ou não) do corpo do animal tenha levado a emergência das características que destacam os primatas dos demais clados. A abordagem comparativa no estudo da morfologia músculo-esquelética e do aparato neural do *C. libidinosus* permitirá inferir dados às áreas da ciência cognitiva e áreas correlatas.

Ao descrever a anatomia dos músculos extensores e distribuição de seus tendões do antebraço de *C. libidinosus* conclui-se que, individual ou individualmente com os músculos flexores, estes músculos que permitem movimentos da mão e/ou a destreza nos movimentos dos dedos provém muito mais resistência do que habilidade em *Cebus* spp.. Entretanto, a constatação comportamental do que são chamadas "ações intencionais" que este primata demonstra, desafia a objetividade da descrição puramente anatômica. Frente a esta constatação, pode o cerne da questão residir no sistema neural e não nas estruturas que permitem os movimentos e o subseqüente uso de ferramentas?

Esta e outras possíveis indagações abrem um leque de possibilidades de estudos da morfo-fisiologia segmentar, considerando-se não somente que as estruturas são "comandadas" centralmente, mas que há toda uma rede intrincada de tecidos conjuntivos sensível a estes comandos e a estímulos externos, gerando respostas reflexas e/ou elaboradas.

Entendendo que a evolução do sentido da visão é uma das características que emergiu a ordem dos primatas de forma decisiva sob seus aspectos cognitivos, toda contribuição acerca da citoarquitetura do neocórtex occipital de *C. libidinosus* adulto torna-se importante. Utilizando uma técnica de impregnação de neurônios pouco convencional, as análises permitiram comparar com os dados sobre essa estrutura cortical em primatas humanos e não-humanos e caracterizá-la como área visual primária mais extensa. Contudo, sob o aspecto quantitativo, a impregnação de Golgi-Cox não se mostrou pontualmente confiável e necessita ser mais explorada. Talvez, combinada a outras técnicas como imunoistoquímica possa ser útil e prover dados muito relevantes.

Com o intuito de contribuir com as bases dos estudos relacionados à evolução da cognição de primatas, este trabalho relacionou a morfologia, tal como ciência que é, com as inúmeras observações sobre comportamento do macaco-prego, considerado pelos etólogos e primatologistas “um primata muito especial e importante”, podendo ser utilizado como modelo em pesquisas biomédicas e até como auxiliares para pessoas com limitações físicas, por serem macacos altamente treináveis e adaptáveis ao convívio humano.

Tais resultados podem auxiliar no entendimento das habilidades e do comportamento de *Cebus* spp. que, sem dúvida, merece as atenções científicas e adequaçôes quanto à sua classificação em termos de convergência evolutiva com os demais primatas.

ANEXO

Músculos Flexores Superficiais

O quadro 1 mostra as similaridades e as diferenças entre os músculos flexores superficiais do antebraço de *C. libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*).

Conforme AVERSI-FERREIRA et al. (2005b), o músculo flexor ulnar do carpo e o músculo palmar longo (Figura 1) são similares em todos os primatas estudados com relação às inserções proximal e distal, inervação e vascularização, mas os músculos flexor radial do carpo, m. flexor digital superficial e m. pronador redondo (Figura 1) apresentam maior semelhança entre *C. libidinosus* e babuíno. A inserção distal do m. flexor ulnar do carpo no osso pisiforme em *C. libidinosus* é evidente, pois esse osso é bem desenvolvido nesse primata.

Em termos gerais, os músculos flexores superficiais do antebraço de *C. libidinosus* são semelhantes aos do homem e outros primatas. Porém, ao considerar os detalhes específicos são mais parecidos aos de babuínos.

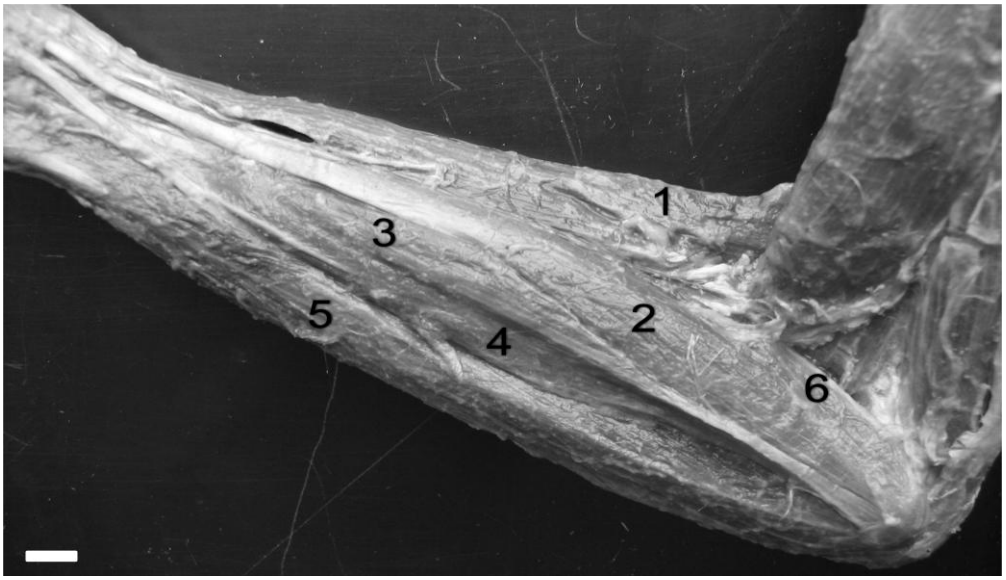

FIGURA 1 – Aspecto anterior do antebraço direito de um *C. libidinosus* mostrando os músculos flexores superficiais. (1) m. braquiorradial; (2) m. flexor radial do carpo; (3) m. flexor digital superficial; (4) m. palmar longo; (5) m. flexor ulnar do carpo e (6) m. pronador redondo. Barra=1,2cm.

Quadro 1 - Análise comparativa dos músculos flexores superficiais do antebraço entre *C. libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*).

Músculo	**Características**	***C. libidinosus***	**Homem***	***Pan*** **	***Papio*** **
Flexor ulnar do carpo	Inserção proximal	Epicôndilo medial do úmero e olécrano da ulna	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Osso pisiforme			
	Inervação	n. ulnar			
	Vascularização	a. ulnar			
Palmar longo	Inserção proximal	Epicôndilo medial do úmero	Variável, pode estar ausente	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Aponeurose palmar			
	Inervação	n. mediano			
	Vascularização	a. ulnar			
Flexor radial do carpo	Inserção proximal	Epicôndilo medial do úmero	Similar *a C. libidinosus* Vascularizado pela a. radial	Dupla inserção nos 1º e 3º ossos metacarpais	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Base do 2º metacárpico			
	Inervação	n. mediano			
	Vascularização	a. ulnar			
Flexor digital superficial	Inserção proximal	Cabeça umeral – epicôndilo medial do úmero; Cabeça radial – superfície anterior do rádio	Três cabeças de origem – umeral, radial e ulnar	Similar ao homem	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Falanges médias dos 2º ao 5º dedos			
	Inervação	n. mediano			
	Vascularização	a. ulnar e ramos da a. radial			
Pronador redondo	Inserção proximal	Epicôndilo medial do úmero	Duas cabeças de origem - umeral e ulnar	Similar ao homem	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Porção póstero-lateral do rádio			
	Inervação	n. mediano			
	Vascularização	a. ulnar			

* Fonte: GRAY (2000).

** Fonte: SWINDLER & WOOD (1973).

Músculos Flexores Profundos

No quadro 2, podem ser observadas as similaridades e as diferenças entre os músculos profundos do antebraço de *C. libidinosus*, homem, chimpanzé e babuíno, em relação às inserções proximal e distal, inervação e vascularização.

Quadro 2 - Análise comparativa dos músculos flexores profundos do antebraço entre *C. libidinosus*, homem, chimpanzé (*Pan*) e babuíno (*Papio*).

Músculo	Características	*C. libidinosus*	Homem*	Pan**	Papio**
Pronador quadrado	Inserção proximal	Porção interna ântero-lateral do terço distal da ulna	Inervado pelo n. mediano	Similar a *C. libidinosus*	Similar a *C. libidinosus*
	Inserção distal	Borda ântero-medial do terço distal do rádio			
	Inervação	n. ulnar			
	Vascularização	a. ulnar			
Flexor digital profundo	Inserção proximal	Porção proximal da superfície anterior da ulna	Similar a *C. libidinosus*, porém a porção carnosa é bem individualizada	Não possui tendão para o dedo indicador	Tendões da cabeça radial para os 1º, 2º e 3º dedos; e da cabeça ulnar para os 3º, 4º e 5º dedos
	Inserção distal	Base das falanges distais do 2º ao 5º dedos			
	Inervação	n. ulnar			
	Vascularização	a. ulnar			
Flexor longo do polegar	Inserção proximal	Epicôndilo medial da superfície ântero-medial do rádio	Também se origina da parte adjacente da membrana interóssea. Não há tendão para o indicador	Similar a *C. libidinosus*	Unido a porção carnosa do m. flexor digital profundo
	Inserção distal	Falange distal do polegar e um tendão para o dedo indicador			
	Inervação	n. mediano			
	Vascularização	a. ulnar			

* Fonte: GRAY (2000).
** Fonte: SWINDLER & WOOD (1973).

O músculo pronador quadrado (Figura 2) é semelhante aos de outros primatas, exceto ao de humanos, que é inervado pelo nervo mediano.

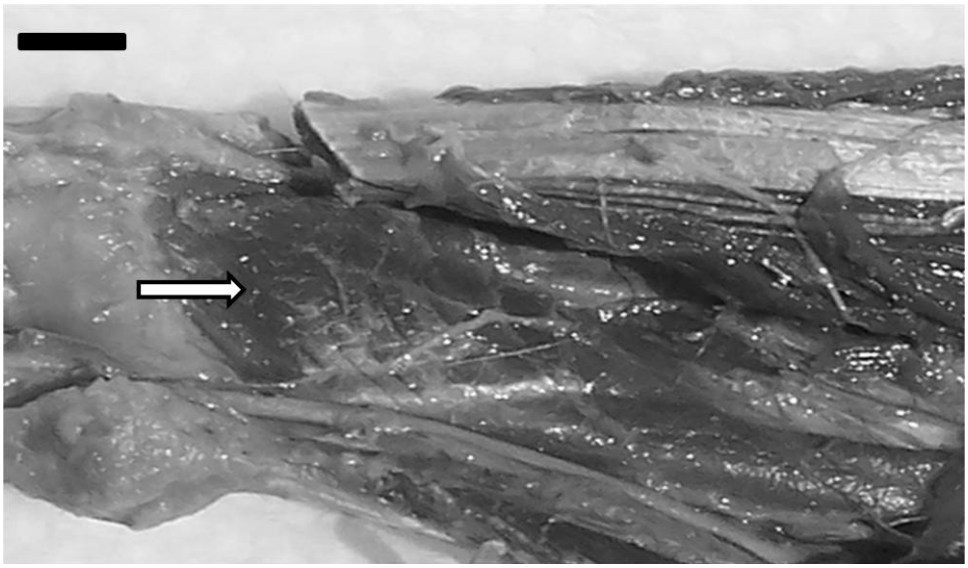

FIGURA 2 - Aspecto anterior do antebraço direito de um *C. libidinosus* mostrando o m. pronador quadrado (seta). Barra=0,5cm.

Em termos gerais, as características observadas na tabela 2 indicam que os m. flexor digital profundo e m. flexor longo do polegar (Figura 3) são, primariamente, mais parecidos entre *C. libidinosus* e homem, seguidos por chimpanzé e, curiosamente, são os mais distintos entre os babuínos e os outros primatas, o que não ocorreu com o grupo dos músculos flexores superficiais. Dessa forma, os m. flexor digital profundo e m. flexor longo do polegar agem na mão nos movimentos dos dedos, incluindo o polegar. Esta evidência anatômica indica uma tendência a um comportamento manipulador do *C. libidinosus* em relação ao babuíno e o aproxima ao humano e ao chimpanzé.

AVERSI-FERREIRA et al. (2006) mencionaram que os ventres dos m. flexor digital profundo e m. flexor longo do polegar são firmemente unidos, o que difere do homem, no qual os ventres são separados e individualizados (GRAY, 2000). É evidente que essa característica fornece ao *C. libidinosus* a prioridade de agarrar e segurar, como é requerido por seus hábitos arborícolas (AVERSI-FERREIRA et al., 2006).

FIGURA 3 - Aspecto anterior do antebraço direito de um *C. libidinosus* mostrando os músculos flexores profundos. (1) tendão do m. flexor digital profundo; (2) tendão do m. flexor longo do polegar (seta). Barra=0,7cm.