

LISIEUX FRANCO FUZESSY

**ESTUDO COMPARATIVO DA MORFOLOGIA DE GRUPOS DE
HÍBRIDOS DE *Callithrix*sp. DE VIDA LIVRE EM VIÇOSA, MG**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Biologia Animal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F996e
2013

Fuzessy, Lisieux Franco, 1988-
Estudo comparativo da morfologia de grupos de híbridos
de *Callithrix* sp. de vida livre em Viçosa, MG / Lisieux Franco
Fuzessy. – Viçosa, MG, 2013.
x, 65f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Ita de Oliveira e Silva

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Callithrix*. 2. *Callithrix* - Morfologia.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia
Animal. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal.

II. Título.

CDD 22. ed. 599.84

LISIEUX FRANCO FUZESSY

**ESTUDO COMPARATIVO DA MORFOLOGIA DE GRUPOS DE
HÍBRIDOS DE *Callithrix*sp. DE VIDA LIVRE EM VIÇOSA, MG**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Biologia Animal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 18 de janeiro de 2013

Dr. Moacir Carretta Jr.

Dr. Vanner Boere Souza
(Coorientador)

Dra Ita de Oliveira e Siva
(Orientadora)

“Ser homem é ser responsável. É sentir que colabora na construção do mundo”

*Antoine de Saint-Exupéry
O Pequeno Príncipe*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Mara e Roberto.

À Cris, pela oportunidade de estar aqui. Coração, para você minha eterna gratidão!

À Ita, minha orientadora, obrigada pela confiança e disposição.

À Universidade Federal de Viçosa, pela contribuição à minha formação acadêmica.

Ao professor Vanner Boere de Souza pelos ensinamentos e pela orientação no projeto.

Ao professor Moacir Carretta Jr. por aceitar fazer parte da banca deste trabalho.

Ao professor Tarcízio Antônio Rêgo de Paula, juntamente a todos do CETAS/NUCOMAS – UFV (Núcleo de Conservação de Mamíferos Silvestres) por disponibilizar o local para os procedimentos clínicos e grande parte do material necessário. Obrigada por todo apoio logístico.

Ao professor Sérgio Lucena Mendes e suas alunas Joana Zorzal Nodari e Luana Centoducatte pela receptividade e apoio durante a estadia na UFES e no Espírito Santo.

À Joanna Malukiewicz pela companhia em Brasília e pelo apoio durante a elaboração dos artigos.

As diretorias do Jardim Botânico de Brasília (Jeanitto Gentilini), Fundação Jardim Zoológico de Brasília (José Belarmino da Gama) e CETAS de Goiânia.

Ao Edilberto Martinez e família pelo acolhimento e apoio durante o desenvolvimento do trabalho em Brasília.

À Fernandinha, eterna parceira.

Aos Veterinários Vinícius Herold Dornelas, Alexandre Tavela, Moacir Carretta Jr, Natasha Maia e Ayisa Rodrigues pelos procedimentos clínicos.

Ao Fausto, pelas fotografias disponibilizadas.

Aos funcionários e técnicos da Vila Gianetti (Universidade Federal de Viçosa). Muito obrigada por sempre estarem com as portas abertas pra nos receber.

À Letícia pelas palavras de estímulo, pelo apoio psicológico e por estar sempre perto.

Aos amigos do Museu de Zoologia João Moojenpelos momentos de descontração.

Aos amigos do Laboratório de Morfofunção Animal pela parceria e companheirismo.

Aos melhores amigos, muitos agora distantes, por colorir a vida de cores especiais. Vocês AINDA são o melhor que eu levo de Viçosa!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
Situação atual dos primatas	2
Classificação e distribuição geográfica de Calitriquídeos	3
Introdução de Espécies.....	10
Hibridação em Primatas	12
Referências Bibliográficas	15
JUSTIFICATIVA	21
OBJETIVOS	26
ARTIGO I – <i>External morphometry of five wild hybrid groups genus Callithrix and their comparison to parental species</i>	28
Abstract.....	29
Introduction	31
Methods	33
Results	35
Discussion.....	42
Acknowledgements	44
References.....	45
ARTIGO 2 - <i>Pelage Description and Variation on Wild Marmosets Hybrids Genus Callithrix(Callitrichidae) in the Forest Zone of Minas Gerais</i>	48
Abstract.....	49
Introduction	51
Methods	52
Results	54
Discussion.....	59
Acknowledgements	60
References.....	60

ANEXOS	64
Anexo I – Tabela de coleta de dados biométricos.....	64
Anexo II – Estatística descritiva para as três espécies em estudo.....	65

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

TABELA 1 – Tamanho e Composição dos grupos híbridos	35
TABELA 2 – Teste T comparando <i>C. penicillata</i> e <i>C. geoffroyi</i>	36
TABELA 3 – Teste T comparando as espécies parentais e os híbridos	37
TABELA 4 – Cargas dos Escores Fatoriais da Análise de Componentes Principais para medidas corporais de <i>C. penicillata</i> e <i>C. geoffroyi</i>	39
TABELA 5 – Cargas dos Escores Fatoriais da Análise de Componentes Principais para medidas corporais de Híbridos, <i>C. penicillata</i> e <i>C. geoffroyi</i>	41

ARTIGO 2

TABELA 1 – Tamanho e Composição dos grupos híbridos	55
---	----

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

FIGURA 1 - Mapa de distribuição de <i>Callithrix</i> (Rylands <i>et al</i> , 2009).....	6
FIGURA 2 - Mapa de distribuição de <i>Callithrix</i> (Marroiget <i>al</i> , 2004).....	7
FIGURA 3 - Mapa de distribuição de <i>Callithrix</i> (Tagliaroet <i>al</i> , 1997).....	8
FIGURA 4 - Invasão Biológica (Adaptado de Blackburn <i>et al</i> , 2011).....	11
FIGURA 5 - Relação filogenética entre as espécies do gênero <i>Callithrix</i> baseada em análises morfológicas (Marroig <i>et al</i> , 2004).....	14

ARTIGO 1

FIGURA 1 – Gráfico de distribuição dos Escores Fatoriais da Análise de Componentes Principais para <i>C. geoffroyi</i> e <i>C. penicillata</i>	38
FIGURA 2 – Gráfico de distribuição dos Escores Fatoriais da Análise de Componentes Principais para Híbridos, <i>C. geoffroyi</i> e <i>C. penicillata</i>	40

ARTIGO 2

FIGURA 1 – Campos cromogenéticos observados (corpo e face)	54
FIGURA 2 – Padrão de coloração corporal observado	56
FIGURA 3 – Cinco padrões de face observados com suas respectivas porcentagens de ocorrência.....	58

RESUMO

FUZESSY, Lisieux Franco, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2013. **Estudo comparativo da morfologia de grupos de híbridos de *Callithrix* sp. de vida livre em Viçosa, MG.** Orientadora: Ita de Oliveira e Silva. Coorientadores: Vanner Boere Souza e Jorge Abdala Dergam.

Hibridação é o cruzamento entre indivíduos de populações distintas que resulta na produção de descendentes com ascendência mista. A hibridação natural é um mecanismo evolutivo importante e vem sendo relatado nos últimos 25 anos para várias espécies de Primatas Neotropicais. Estes animais apresentam uma notável variação com relação ao tamanho corporal e as espécies são identificáveis com base na coloração da pelagem. Estudos da morfometria deste grupo são raros na literatura científica, uma vez que a maioria deles se restringe a um ou poucos dados, como peso corporal, ou a levantamentos de estudos antigos. No presente trabalho detectamos indivíduos híbridos nos fragmentos florestais de Viçosa, descrevendo a variação no padrão corporal e facial de pelagem e caracterizando a morfometria externa dos animais. O estudo envolveu 79 indivíduos (40 saguis híbridos do gênero *Callithrix*, 22 representantes de *C. penicillata* e 17 de *C. geoffroyi*). Os animais foram capturados em armadilhas de múltiplas entradas, anestesiados e em seguida foram fotografados e medidos. Com base nos padrões corporais, foi detectada uma coloração uniforme entre os híbridos. Quanto a coloração da face, observamos cinco morfotipos diferentes. Morfometricamente, não houve diferença significativa entre machos e fêmeas e as três espécies em estudo são estatisticamente parecidas quanto ao comprimento do corpo. Entre os híbridos e *C. penicillata* existe uma similaridade nas medidas craniais e de peso corporal, enquanto que entre os híbridos e *C. geoffroyi* a similaridade se dá nas medidas dos membros. A existência de morfotipos híbridos e sua elevada capacidade reprodutiva indicam um isolamento reprodutivo incompleto entre as espécies em questão. Tais resultados permitem identificar indivíduos híbridos com vários níveis de introgressão na cidade de Viçosa. Além disso, o presente estudo adiciona alguns dados ausentes sobre a morfometria clássica de Callithriquídeos, apresentando medidas corporais externas nunca relatadas.

ABSTRACT

FUZESSY, Lisieux Franco, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2013. **Comparative study of the morphology of wild *Callithrix* sp. hybrid groups in Viçosa, MG.** Adviser: Ita de Oliveira e Silva. Co-Advisers: Vanner Boere Souza and Jorge Abdala Dergam.

Hybridization is the interbreeding between individuals from distinct populations resulting in the production of some offspring of mixed ancestry. Natural hybridization is an important evolutionary mechanism that has been reported in the last 25 years for several Neotropical Primate. New World Monkeys show remarkable variation in body size and they have been identified on the basis of a mosaic pelage color. Studies on morphometry of this group are scarce in scientific literature, since most studies have been restricted to body weight analysis and compilation of data originated from old studies. We detected groups of hybrid individuals in Viçosa's forest fragments, described the corporal and facial pelage variation pattern of such individuals and characterize the external morphometry of them. The study involved 79 marmosets (40 hybrid genus *Callithrix*, 22 *C. penicillata* and 17 *C. geoffroyi*). They were captured with a multiple-entrance trap, anesthetized, photographed and measured. Based on the body patterns, we found a uniform color among the hybrid individuals and the faces' morphotypes showed five different and intermediate configurations. No morphometrical difference between male and female was found. The three species are statistically similar to Body Length. Among hybrids and *C. penicillata* we note a similarity in the head measures and the body mass, whereas there is a greater resemblance between the hybrids with *C. geoffroyi* concerning limbs measures. The existence of the hybrid morphotypes and their high reproductive fitness indicate incomplete reproductive isolation between the species. Those findings provide subvention to identify hybrid individuals with various degrees of introgression at Viçosa's forest fragments. Moreover, present results added some missing data to marmosets' classical morphometry, showing external body measurements never studied.

Introdução Geral



1. Situação atual dos primatas

Os mamíferos estão distribuídos por todos os continentes, desde áreas costeiras até grandes altitudes, isto se deve ao fato de este grupo de vertebrados ser o mais diversificado do planeta, sendo bem sucedido principalmente nos últimos milhares de anos (Pough et al. 2003).

De acordo com Wilson & Reeder (2005), atualmente, estão descritas 5.416 espécies de mamíferos pelo mundo, divididas em 29 ordens. De acordo com a última lista publicada pela World Conservation Union (IUCN 2011), destas 5.416 espécies, 496 correm risco de extinção (191 estão criticamente em perigo, 447 estão em perigo e 496 estão classificadas como vulneráveis). A perda de habitat cada vez maior e mais comum na região neotropical coloca vários taxons na lista da fauna ameaçada de extinção no Brasil (IUCN 2011). Dentro da Ordem Primates, 204 espécies pertencem a esse grupo (de um total de 416). Consta na lista mais atual das 25 espécies de primatas mais ameaçados do mundo, publicada pela Conservation International, que cinco são representantes dos Primatas Neotropicais, sendo duas espécies brasileiras (Mittermeier et al 2012). Dentre o total de espécies ameaçadas, a Lista Oficial da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (Ibama 2003) aponta que 16 são endêmicas da Mata Atlântica, onde sete estão criticamente em perigo, quatro em perigo e outras quatro vulneráveis (Rylands & Chiarello 2003). Ainda segundo a lista da IUCN de 2011, duas espécies de primatas foram extintas em todo o mundo nos últimos 16 anos.

O país com a maior diversidade de espécies pertencentes a ordem Primates é o Brasil, que detém 77% das espécies de primatas do Novo Mundo, sendo 38 delas endêmicas (Rylands et al 1997). O Brasil tem melhorado sua posição no ranking de países com maior número de espécies ameaçadas, mas ainda é necessária a manutenção dos esforços. As duas espécies brasileiras que constavam na lista das 25 espécies mais ameaçadas do mundo de 2009 foram retiradas neste ano (*Callicebus barbarabrownae* e *Cebus flavius*), porém duas novas espécies foram adicionadas na nova lista de 2012 (*Cebus kaaporie* *Allouata guariba guariba*) (Mittermeier et al 2012). Considerando que algumas populações de primatas, mesmo que fora das listas atuais, permanecem muito

pequenas, fica clara a necessidade urgente de ampliação dos habitats para garantir a sobrevivência em longo prazo de tais comunidades.

2. Classificação e distribuição geográfica de Calitriquídeos (CALLITRICHIDAE Gray 1821)

Os primatas neotropicais (Platyrrhini) distribuem-se pelas áreas tropicais das Américas a partir do leste e do sul do México. Sua história evolutiva data de aproximadamente 30 milhões de anos, sendo um grupo muito diverso (Fleagle 1999).

A taxonomia dentro da ordem Primates é bastante controversa. Estudos taxonômicos atuais indicam a existência de aproximadamente 657 espécies e subespécies de primatas, distribuídos em 71 gêneros e 16 famílias (Rylands & Mittermeier 2009). Dentro desse total, cinco famílias, 19 gêneros e 199 espécies e subespécies representam os Primatas Neotropicais, distribuídos desde o sul do México, passando pelo Brasil, norte da Argentina e do Paraguai e nordeste do Uruguai, correspondendo a 31% do total de primatas do mundo (Rylands & Mittermeier 2009).

Atualmente os Primatas Neotropicais estão distribuídos em 5 famílias: Callitrichidae (micos e saguis), Cebidae (macaco-prego e macaco-de-cheiro) Aotidae (macaco-da-noite), Pitheciidae (parauaçu, cuxiú, uacari e sauá) e Atelidae (bugio, muriqui e macaco-aranha) (Rylands *et al* 2009)

Atualmente cerca de 60 espécies e subespécies são reconhecidas para a família Callitrichidae e estão divididas em 7 gêneros: *Callithrix*, *Cebuella*, *Calibella*, *Mico*, *Saguinus*, *Leontopithecus* e *Callimico* (Rylands & Mittermeier 2009).

A taxonomia do grupo vem sendo discutida desde 1969, a partir do trabalho de Ávila-Pires, sofrendo mudanças freqüentes durante os últimos anos. Novas descobertas moleculares, comportamentais, biogeográficas e morfológicas demonstraram relações filogenéticas até então desconhecidas, com destaque para o gênero *Callithrix*.

Linnaeus (1758) inicialmente descreveu o gênero como sendo uma espécie de *Simia* (*Simia jacchus*), que abrangia grande parte dos

primatas descritos na época. Este nome dado por Lineu foi posteriormente suprimido e então substituído por *Callithrix*, proposto por Erxleben (1777).

Herskovitz (1977) reconhecia a divisão do gênero *Callithrix* em dois grandes grupos: Grupo *argentata* (sagüis amazônicos) e Grupo *jacchus* (sagüis da mata atlântica). Tal divisão foi aceita nos anos seguintes por Mittermeier *et al* (1988), Vivo (1991) e Rylands *et al* (1993). Porém, Grooves (1993, 2001 e 2005) propôs uma mudança radical na classificação dos callitriquídeos, considerando Callithrichinae como sendo subfamília de Cebidae. Para ele, *Callithrix* apresentaria então 4 subgêneros: *Callithrix* (saguis da mata atlântica), *Calibella* (sagui anão) *Cebuella* (sagui pigmeu) e *Mico* (saguis amazônicos), sendo todos pertencentes ao gênero *Callithrix*. Rylands e colaboradores (2000) discordavam dessa classificação, concordando com a idéia anterior de que a subfamília Callithrichinae fosse parte da família Callithrichidae. Numa revisão mais recente, Rylands e colaboradores (2009) afirmam que a subfamília callithrichinae, com aproximadamente 22 espécies e subespécies, é representada por indivíduos que possuem adaptações dentais e comportamentais para raspar árvores e se alimentar de exudatos. Estes indivíduos são então divididos em 4 grupos taxonômicos reconhecidos como gêneros pelos autores: *Callithrix* (sagüis do leste brasileiro do grupo *jacchus*), *Cebuella* (sagüi-leãozinho amazônico), *Calibella* (sagui amazônico anão) e *Mico* (sagüis amazônicos do grupo *argentata*).

Como representantes do gênero *Callithrix* ERXLEBEN 1777, atualmente são reconhecidas 6 espécies, todas endêmicas do Brasil: *Callithrix aurita*, *Callithrix flaviceps*, *Callithrix geoffroyi*, *Callithrix jacchus*, *Callithrix kuhlii* e *Callithrix penicillata* (Rylands *et al* 2009). A estreita relação morfológica e biogeográfica entre algumas dessas espécies fez com que Herskovitz (1977) as considerasse como subespécies de *C. jacchus*. Porém, Coimbra-Filho & Mittermeier (1981), Mittermeier *et al* (1988), Natori (1986) e Marroig (2004) optaram por mantê-las como espécies separadas, porém intimamente relacionadas, expressando melhor a distribuição geográfica, distinção morfológica, ecológica e comportamental observada entre elas. Vivo (1991) não encontrou evidências significativas de intergradação de fatores entre todas as espécies, preferindo, dessa maneira, também manter essas seis formas

como espécies válidas, assim como Grooves (1993, 2001 e 2005) e Rylands *et al* (2000, 2009).

A distribuição natural dos indivíduos do gênero *Callithrix* se dá pela mata atlântica, ocorrendo nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Tocantins, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Rio de Janeiro. O mapa da Figura 1, retirado de Rylands *et al* (2009) ilustra tal distribuição e concorda com os mapas das Figuras 2 e 3, retirados de Marroig *et al* (2004) e Tagliaro *et al* (1997) respectivamente, construídos a partir de análises de exemplares depositados em diversas coleções e Museus.

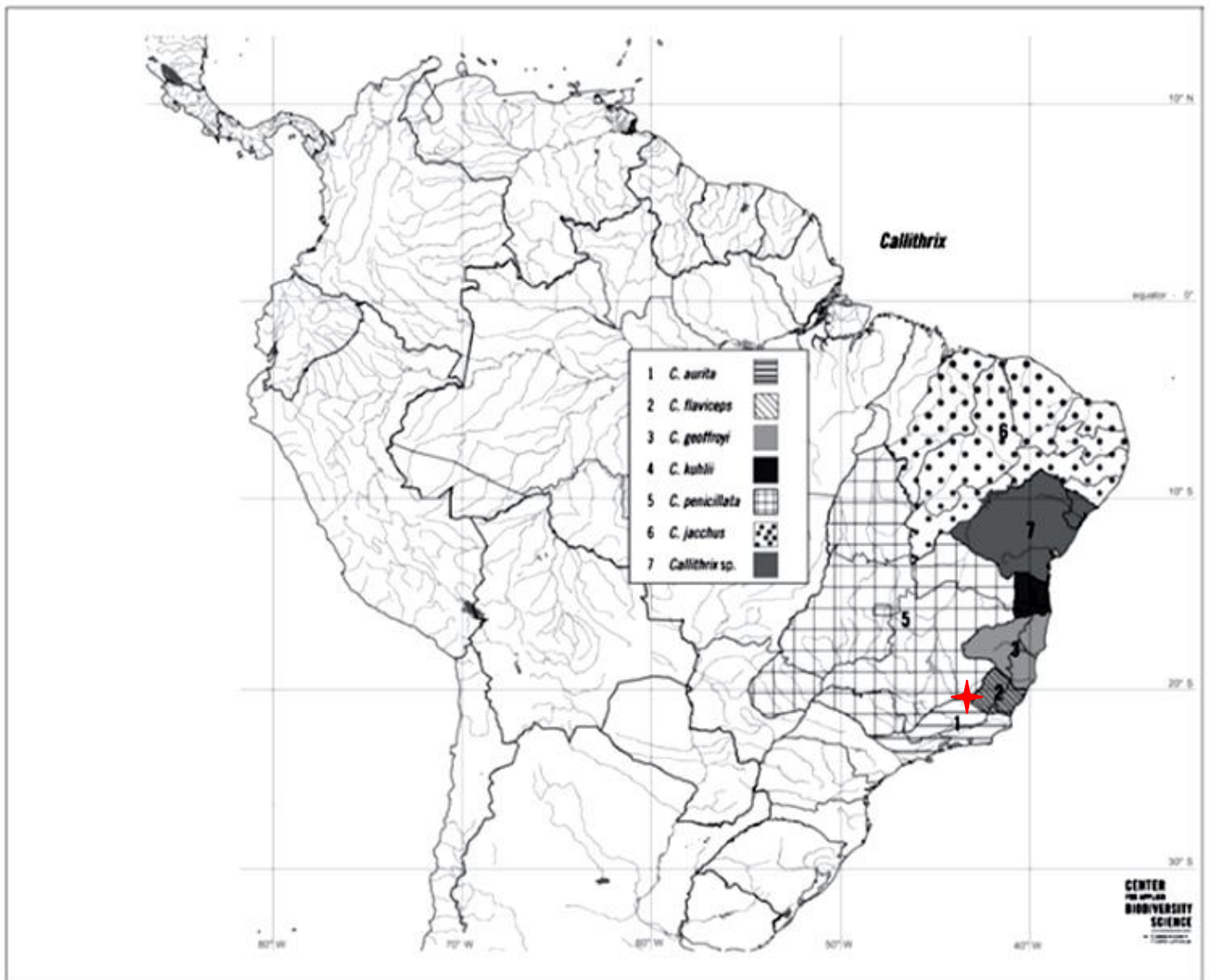


FIGURA 1: Mapa de distribuição de *Callithrix* (RYLANDS *et al*, 2009). Em destaque (vermelho) a região de Viçosa, MG – foco do presente estudo.

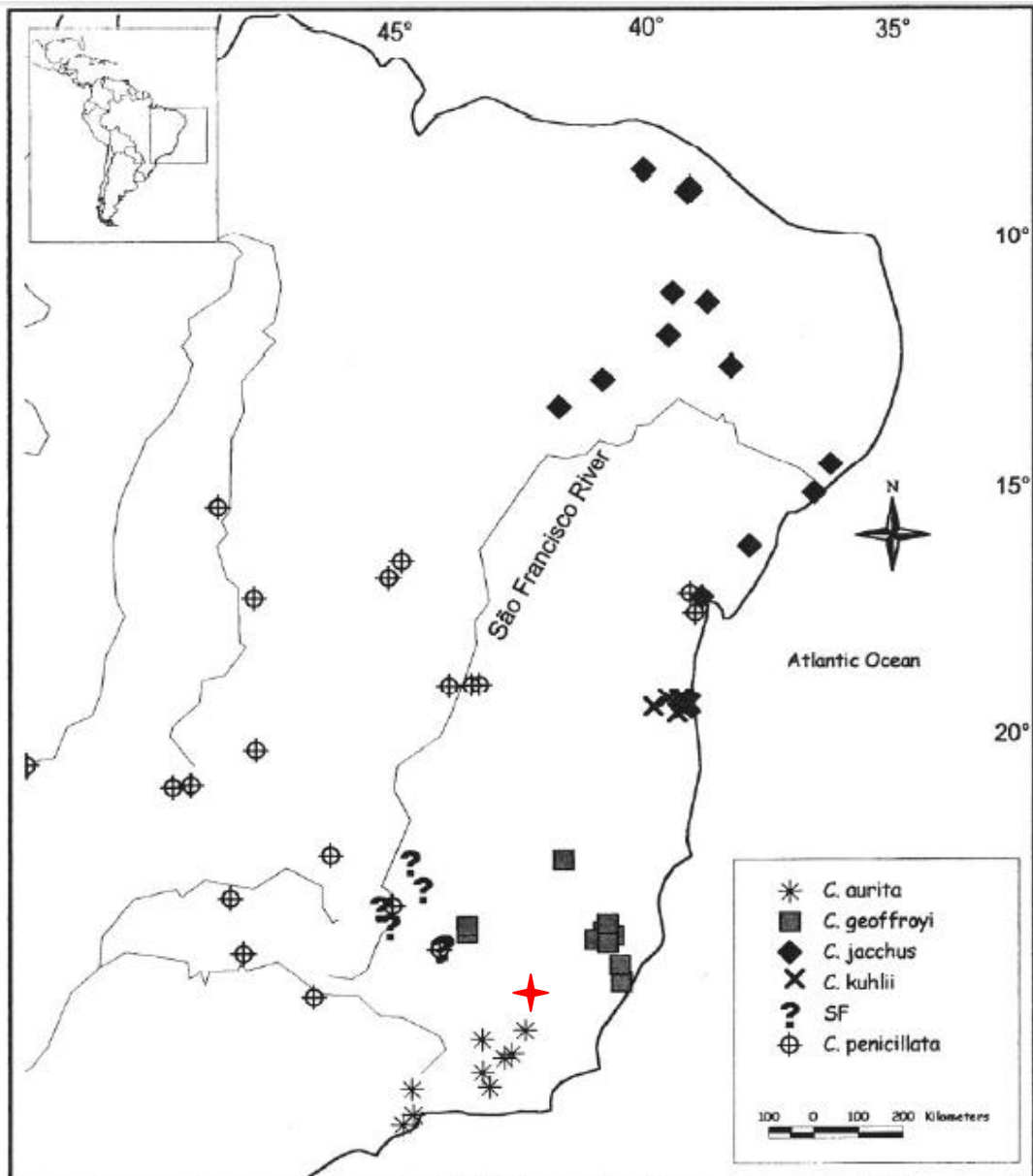
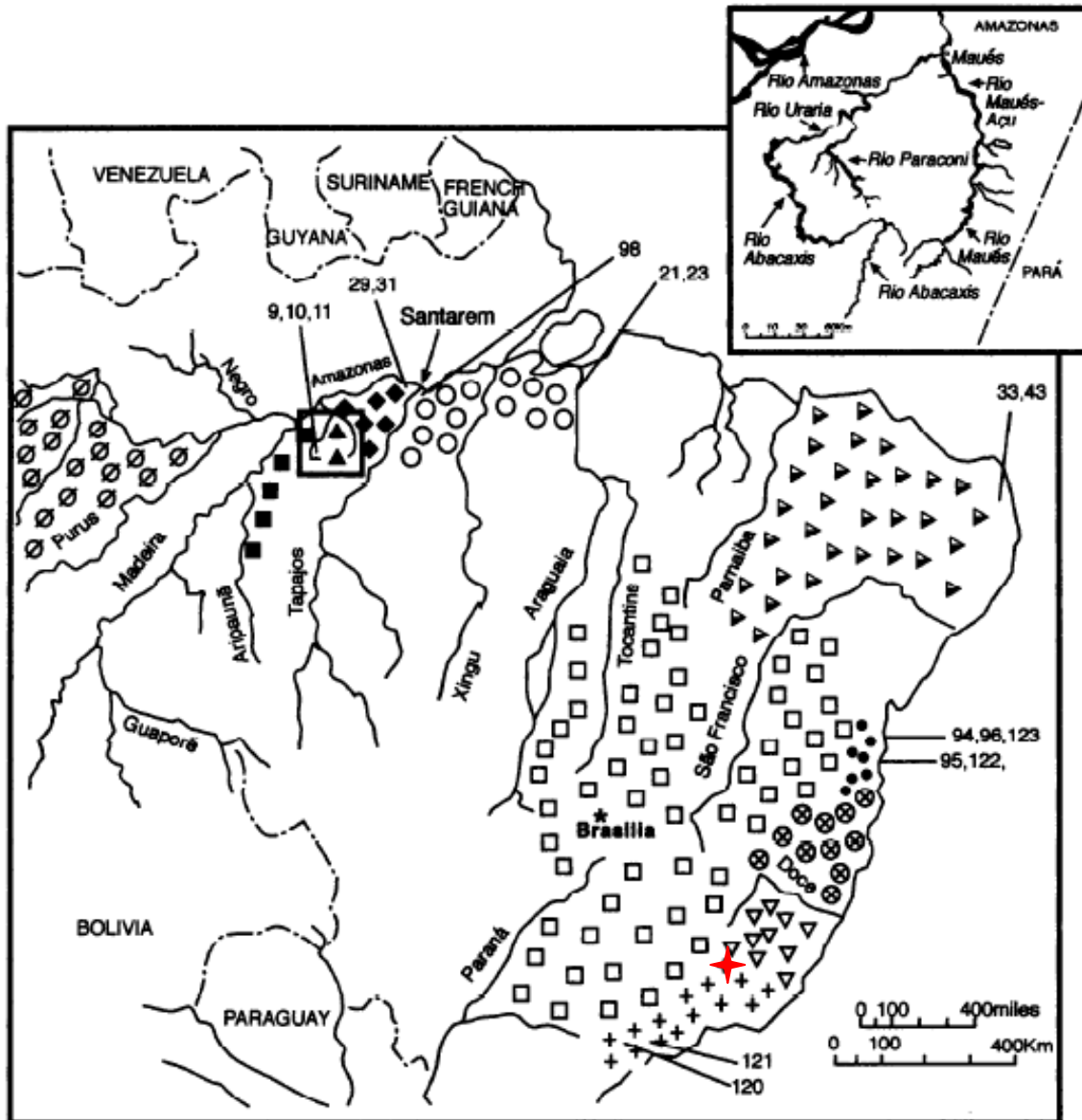


FIGURA 2: Mapa de distribuição de *Callithrix* (Marroiget *al*, 2004). Em destaque (vermelho) a região de Viçosa, MG – foco do presente estudo.



Legenda: □ *C. penicillata*; ▲ *C. jacchus*; ● *C. kuhli*; ⊗ *C. geoffroyi*; ▽ *C. flaviceps*; + *C. aurita*.

FIGURA 3: Mapa de distribuição de *Callithrix* (Tagliaroet al, 1997). Em destaque (vermelho) a região de Viçosa, MG – foco do presente estudo.

Callithrix penicillata (Geoffroy Saint-Hilaire 1812), conhecido vulgarmente como mico-estrela ou sagui do cerrado, possui a mais ampla distribuição geográfica de seu gênero, constituindo uma das espécies com comportamentos mais plásticos e ocupando áreas de matas de galeria, matas secundárias, cerradão e ambientes urbanos (Stevenson & Rylands 1988). É uma espécie endêmica brasileira, se distribuindo pelos estados de São Paulo, Minas Gerais, Tocantins, Maranhão, Piauí, Bahia, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal e Santa Catarina. Segundo Vivo (1991), em Minas Gerais está distribuído nas regiões de cerrado (a oeste da Serra da Mantiqueira), na região centro-norte, onde predomina a caatinga, além de se sobrepor ao domínio morfoclimático ao leste do Brasil, como o tropical atlântico. *Callithrix geoffroyi* (Humboldt 1812) (sagui-de-cara-branca) também constitui uma espécie endêmica do Brasil, ocupando essencialmente áreas de Mata Atlântica com baixas altitudes (500 m) nos estados do Espírito Santo (ao norte da Bacia do Rio Doce), sul Bahia e áreas adjacentes de Minas Gerais. Mais especificamente, em Minas Gerais estão descritos na região ao Leste da Serra do Espinhaço e áreas próximas ao Rio Doce e Rio Piracicaba (Vivo 1991).

Como pode ser observado em destaque nas Figuras 1, 2 e 3, o município de Viçosa se posiciona numa região crítica de distribuição natural de calitriquídeos. Para alguns autores, a região é típica de distribuição de *C. aurita* (sagui da serra escuro) (Morais Junior 1998, Melo 1999). Porém, esta posição se encontra muito próxima ao limite de distribuição de *C. penicillata* e *C. geoffroyi*. Considerando que *C. aurita* já não habita mais as áreas em estudo (Morais Junior 1998) e que nos fragmentos florestais do município encontram-se exemplos de possível hibridação entre espécies de *Callithrix* (Pereira et al 1995, Melo 1995, Morais Junior 1998; Fuzessy 2010), se torna importante a compreensão da dinâmica desses grupos. Essas observações se reforçam pela detecção de grupos de animais apresentando padrões morfológicos intermediários entre as espécies *C. penicillata* e *C. geoffroyi* (Pereira et al 1995, Melo 1995, Morais Junior 1998, Fuzessy 2010). Zonas de hibridação para tais espécies já foram descritas por Passamani e colaboradores (1997) e por Melo (1999) para a área em questão.

3. Introdução de Espécies

Nos últimos 20 anos observou-se um grande aumento no interesse sobre as causas e conseqüências das invasões biológicas, porém uma compreensão unificada sobre o assunto tem sido dificultada, uma vez que os pesquisadores das diferentes espécies distribuídas por ambientes variados têm adotado modelos divergentes para explicar o processo, resultando em uma gama confusa de conceitos, termos e definições (Blackburn *et al* 2011). O termo é utilizado para definir dois processos: primeiro a expansão natural da área de distribuição geográfica de uma espécie e, segundo, o processo decorrente da introdução accidental ou proposital de uma espécie fora de sua área de ocorrência atual e histórica, mediada por ação antrópica (Davis & Thompson 2002). Ou seja, este processo pode ocorrer naturalmente entre as comunidades, porém ultimamente tem extrapolado os limites geográficos naturais devido à ação humana (Blackburn *et al* 2011).

A invasão biológica é uma das principais causas da extinção de espécies em todo o mundo, sendo considerada a segunda maior causa da perda de biodiversidade global (Walker & Stefen 1997). As conseqüências de introduções de espécies exóticas tem se demonstrado potencialmente sérias, no entanto, nem todas essas introduções são bem sucedidas (Williamson 1996). Uma das razões para que algumas espécies exóticas tenham tanta facilidade para invadir e dominar novos habitats, deslocando as espécies nativas, é a ausência de predadores naturais, doenças e parasitas, particularmente em ambientes insulares ou em regiões que já sofreram perturbações decorrentes da ação humana (Primack & Rodrigues 2001).

O processo da invasão consiste de fases sucessivas, não necessariamente lineares. O processo geral é definido por uma fase inicial de transporte do invasor, seguida por sua introdução na biota não nativa. Posteriormente, ocorrerá o estabelecimento de populações invasoras auto-sustentáveis, que serão capazes de se dispersar no habitat invadido (Blackburn *et al* 2011). Estas fases apresentam barreiras que devem ser transpostas pela espécie introduzida para que esta seja bem sucedida no processo de invasão (Mitchell *et al* 2006), como pode ser visto na Figura 4.

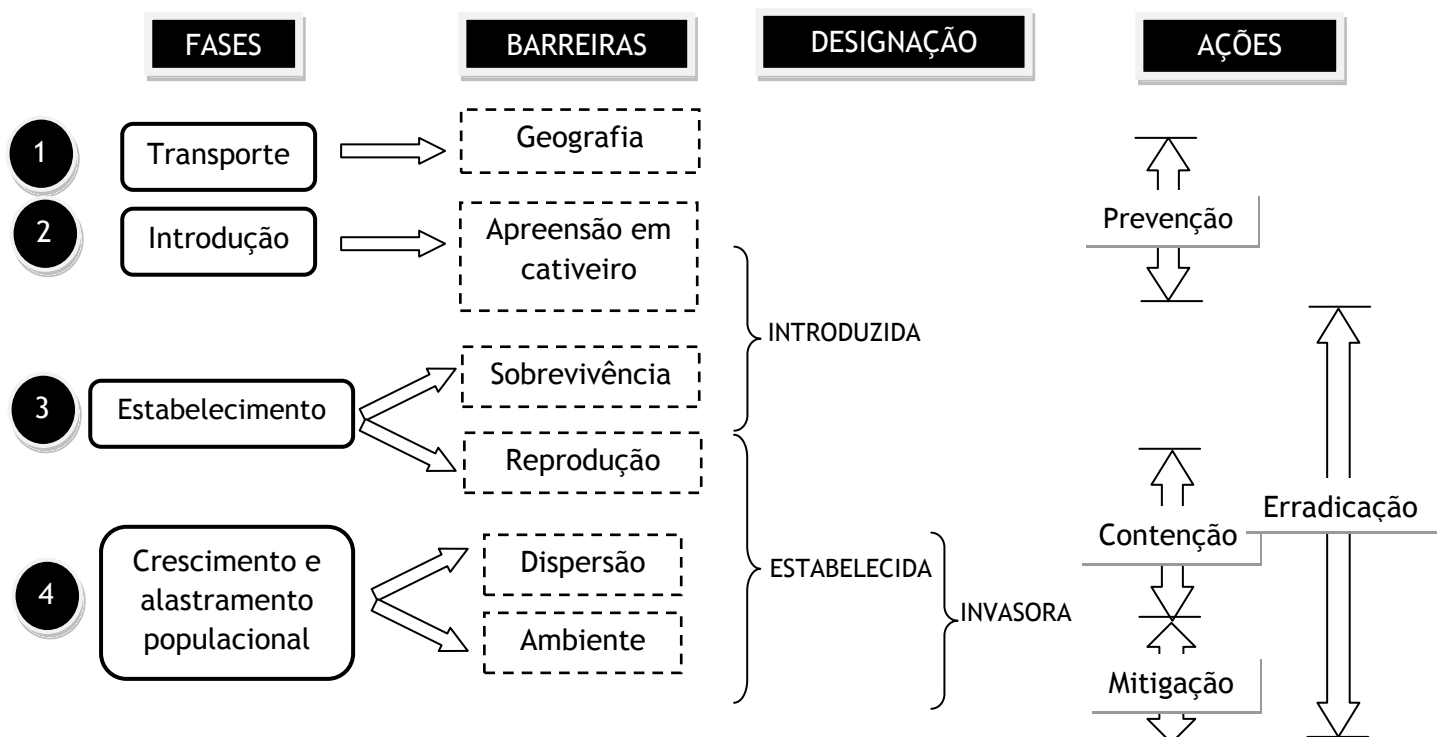


FIGURA 4: Representação gráfica das fases da invasão biológica, barreiras encontradas pelo invasor, nomenclatura utilizada para o invasor e ações capazes de reduzir as conseqüências. (Adaptado de Blackburn *et al*, 2011).

No Brasil, segundo o banco de dados I3N de espécies exóticas invasoras da Rede Interamericana de informação sobre Biodiversidade (IABIN), gerenciado no Brasil pelo Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental e pela TNC (The Nature Conservancy), existem catalogadas 348 espécies exóticas invasoras e mais de 11.200 registros de ocorrências de invasão no território brasileiro (Instituto Hórus 2012). As principais causas destas introduções são o uso ornamental e comercial de espécies exóticas e a criação de animais de estimação, que juntas somam cerca de 40% das introduções intencionais no país. Espécies do gênero *Callithrix*, principalmente *Callithrix jacchus* e *Callithrix penicillata*, são importantes exemplos brasileiros de

vertebrados introduzidos. Apesar de serem nativos do Brasil, estes primatas são exóticos em vários estados da Federação (Morais Junior 2010). Ambas as espécies são introduzidas em quase todos os estados do sul e sudeste brasileiro em diversos ambientes naturais e antrópicos. No habitat invadido, os indivíduos competem e hibridam com espécies nativas, causando desequilíbrio nas comunidades (Instituto Hórus 2012). A maior parte destes invasores está em áreas florestadas urbanas (ex.: parques, praças, campus universitário) e apesar de se reproduzirem, sua sobrevivência parece depender de recursos disponibilizados direta e indiretamente por humanos (Santos *et al* 2006).

4. Hibridação em Primatas

Um dos grandes problemas para a conservação de primatas neotropicais é a existência de várias lacunas em relação à distribuição geográfica de várias espécies e subespécies (Ryland *et al* 1997). Os processos de dispersão, adaptação às variações ambientais e extinção atuam na dinâmica da distribuição geográfica e na formação das diferentes comunidades no tempo e no espaço (Begon *et al* 2007).

A composição de espécies numa área de transição ambiental onde comunidades ecológicas diferenciadas entram em contato (ecótono) muda de forma gradual, uma vez que as distribuições das diferentes espécies podem se sobrepor (Pianka 1999). Com esta mudança gradual ao longo de uma região, dois táxons anteriormente isolados podem se encontrar, acasalar e assim produzir indivíduos híbridos, mantendo uma nova zona de contato e também uma chamada zona de hibridação (Hewitt 1988). Nestes casos, a zona de contato foi originada pelo encontro secundário entre estes táxons e sua extensão pode variar desde alguns metros a centenas de quilômetros de largura ao longo da distribuição dos táxons envolvidos (Hewitt 1988). Anteriormente os zoólogos acreditavam que a hibridação entre espécies animais era um evento extremamente raro e geralmente resultante na produção de híbridos estéreis, sem maiores consequências sobre as espécies parentais (Trigo 2008). Porém, com o avanço das técnicas moleculares, verificou-se a ampla ocorrência desses eventos em grupos animais, o que

geralmente resulta na produção de híbridos férteis capazes de cruzar entre si e com uma ou ambas as espécies parentais (Harrison 1993).

Dentro da ordem Primates a hibridação natural, oriunda das zonas de contato, já foi descrita para várias espécies. Entre os primatas do Velho Mundo, existem relatos de híbridos em pelo menos 26 das 233 espécies reconhecidas. Como exemplos, temos como representantes mais comuns os gêneros *Macaca* (Bynum *et al* 1997) e *Papio* (Dunbar & Dunbar 1974). Três tipos de hibridação têm sido identificados nestes casos: hibridação intraespecífica, ou seja, entre indivíduos de uma mesma espécie (Grooves 1978, Lernould 1988); hibridação interespecífica, ou seja, entre indivíduos de espécies diferentes (Philips Conroy & Jolly 1986, Samuels & Altmann 1986, Struhsaker *et al* 1988, Watanabe & Matsumura 1991, Bynum 1995, Bynum *et al* 1997, Evans *et al* 2001, Wyner *et al* 2002); e até mesmo hibridação intergenérica, onde ocorrem híbridos entre gêneros distintos (Dunbar & Dunbar 1974, Jolly *et al* 1997, Baird *et al* 1999, Hiraie *et al* 2007). Já para os primatas do Novo Mundo, os registros tem sido menos frequentes, sendo somente para 8 das 132 espécies (Coimbra-Filho *et al* 1993; Peres *et al* 1996, Mendes 1997). Nos últimos 25 anos foram descritos casos de híbridos férteis em ambientes naturais para espécies principalmente distribuídas nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia e Rio Grande do Sul (Alonso *et al* 1987, Mendes 1989, Mendes 1991, Pereira *et al* 1995, Passamani *et al* 1997, Mendes 1997, Melo 1999, Aguiar *et al* 2007, Bicca-Marques *et al* 2008). Apesar da ausência de dados confirmando genotipicamente a maior parte dessas informações (Corté-Ortiz *et al* 2007), os vários relatos convergem para os os gêneros *Alouatta* e *Callithrix*. No caso dos primatas do gênero *Callithrix*, o processo acentuado de hibridação deve-se à grande proximidade filogenética entre os indivíduos (Mendes 1997).

Estudos moleculares (Tagliaro *et al* 1997) indicam duas hipóteses para essa hibridação. A primeira afirma que um polimorfismo ancestral entre as espécies parentais, ou seja, uma variação fenotípica ancestral possível de ser separada em classes distintamente definidas, pode ter como consequência alelos codificadores segregando até os dias atuais entre os indivíduos do gênero em questão. Já a segunda corrobora a afirmativa de Mendes (1997): as frequentes hibridações entre as espécies ocorrem devido a múltiplas sequencias individuais desses táxons se misturando na árvore filogenética.

A Figura 4 mostra a relação filogenética baseada em dados morfológicos encontrada por Marroig *et al* (2004) para espécies de saguis, destacando a íntima relação entre *Callithrix geoffroyi* e *Callithrix penicillata*.

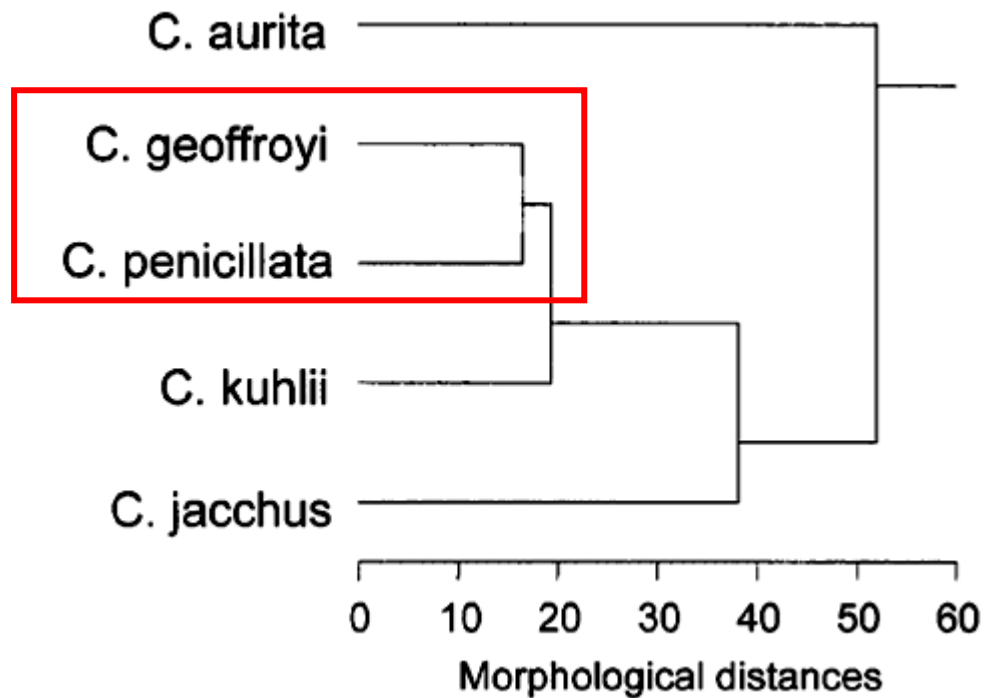


Figura 5: Relação filogenética entre as espécies do gênero *Callithrix* baseada em análises morfológicas (Marroig *et al*, 2004)

Primack & Rodrigues (2001) afirmam que, na prática, os biólogos frequentemente têm dificuldade em distinguir as variações dentro de uma única espécie das variações entre espécies que são aparentadas, o que se complica pelo fato de espécies distintas poderem se cruzar e produzir híbridos. Tais autores definem os híbridos como formas intermediárias que confundem as diferenças entre as espécies parentais, sendo especialmente comuns entre indivíduos de habitats que foram alterados. Arnold & Meyer (2006) destacam a incerteza sobre as relações evolutivas entre muitas das espécies de saguis na América do Sul, afirmando que a confusão filogenética é refletida na separação de indivíduos diferentes em mais de um clado, mesmo pertencendo a espécies morfológicas semelhantes. A explicação dada pelos autores a este fato vem da

possibilidade de hibridação e introgressão, levando a uma filogenia caracteristicamente reticulada, o que é evidenciado pelas zonas de hibridação.

No Brasil, com exceção dos relatos sobre locais de ocorrência de populações de híbridos naturais e estudos taxonômicos, pouco se tem publicado sobre aspectos ecológicos de tais híbridos, destacando a importância desses dados na formulação de uma estratégia de conservação para algumas espécies do gênero *Callithrix*, além de fornecer subsídios sobre a problemática da introdução de espécies exóticas em áreas de conservação (Morais Junior, 1998).

5. Referências Bibliográficas

Aguiar LM, Mellek DM, Abreu KC, Boscarato TG, Bernardi PB, Miranda JMD, Passos FC (2007) Sympatry between *Alouatta caraya* and *Alouatta clamitans* and the rediscovery of free-ranging potential hybrids in Southern Brazil. *Primates* 48:245–24

Alonso C, Faria DS, Langguth A, Santee DP (1987) Variação na pelagem na área de integração entre *C. jacchus* e *C. penicillata*. *Braz J Biol* 47:465-470

Arnold ML, Meyer A (2006) Natural hybridization in primates: One evolutionary mechanism. *Zoology* 109: 261-276.

Ávila-Pires FD (1969) Taxonomia e zoogeografia do gênero “*Callithrix*” Erxleben, 1777 (Primates, Callithricidae). *Rev. Brasil. Biol.* 29: 49–64.

Baird RW, Willis PM, Guenther TJ, Wilson PJ, White BN (1998) An Intergeneric Hybrid in the family Phocoenidae. *Canadian Journal of Zoology* 76(1): 198-204. Doi 10.1139/z97-175a

Begon M, Townsend CR, Harper, JL (2007) *Ecologia de Indivíduos a Ecosistemas*. 4ªed, Artmed, Porto Alegre.

Bicca-Marques JC, Prates HM, Aguiar FRC, Jones CB (2008) Survey of *Alouatta caraya*, the black-and-gold howler monkey, and *Alouatta guariba clamitans*, the brown howler monkey, in a contact zone, State of Rio Grande do Sul, Brazil: evidence for hybridization. *Primates* (2008) 49:246–252

Blackburn TM, Pysek P, Bacher S, Calton JT, Duncan RP, Jarosík V, Wilson JRU, Richardson DMR (2011) A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution* Vol. 26, No. 7

Bynum EL (1995) *Hybridization between Macaca tonkeana and Macaca hecki in Central Sulawesi, Indonesia*. Yale University, 658pp.

Bynum EL, Bynum DZ, Supriatna J (1997) Confirmation and location of the hybrid zone between wild populations of *Macaca tonkeana* and *Macaca hecki* in central Sulawesi, Indonesia. *Am J Primatol* 43(3):181-209.

Coimbra-Filho AF, Mittermeier RA (1981) (eds). Ecology and behavior of Neotropical Primates. Academia Bras de Ciências Vol I, 496p

Cortés-Ortiz L, Duda TF, Canales-Espinosa D, García-Orduña F, Rodríguez-Luna E, Bermingham E (2007) Hybridization in large-bodied New World Primates. *Genetics* 176: 2421-2425

Davis MA, Thompson K (2002) Eight ways to be a colonizer; two ways to be a invader: a proposed nomenclature scheme for invasion ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81: 226–230.

Dunbar RIM, Dunbar P (1974) On hybridization between *Theropithecus gelada* and *Papio anubis* in the wild, *Journal of Human Evolution*, Volume 3, Issue 3, May 1974, Pages 187-192, ISSN 0047-2484, 10.1016/0047-2484(74)90176-6.

Evans BJ, Supriatna J, Melnick DJ (2001) Hybridization and population genetics of two macaque species in Sulawesi, Indonesia. *Evolution* 55(8): 686-702.

Fleagle JG (1999) *Primate adaptation and evolution*. San Diego, Academic Press, 2nd ed., 596 p.

Fuzessy LF (2010) Descrição Morfométrica e composição de grupos de híbridos de *Callithrix* sp.em Viçosa, MG. Monografia. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa – UFV, 32p.

Groves CP (1978) Phylogenetic and population systematics of the mangabeys (Primates: Cercopithecoidea). *Primates* 19: 1–34.

Groves CP (1993) Order Primates. In: Wilson DE, Reeder DM (eds) *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*, 2nd edn. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, pp 243–277.

Groves CP (2001) *Primate taxonomy*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.

Groves CP (2005) Order Primates. In: Wilson DE, Reeder DM (eds) *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*, vol 1, 3^a ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp 111–184.

Harrison RG (1993) *Hybrid zones and the evolutionary process*. Oxford University Press, New York.

Hershkovitz P. (1977) *Living New World Monkeys (Platyrrhini)*. University of Chicago Press, Chicago.

Hewitt G (1988) Hybrid zones — natural laboratories for evolution studies. 3^aed, 158–166.

Hirai H, Hirai Y, Domae H, Kiriwara Y (2007) A most distant intergeneric hybrid offspring (Larcon) of lesser apes, *Nomascus leucogenys* and *Hylobates lar*. Hum Genet. 122(5):477-83.

Ibama (2003). Nova Lista da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Disponível na World Wide Web em:<http://www.mma.gov.br/port/sbf/fauna/index>. [Acessado em 21.XII.2011]

Instituto Hórus (2012) Base de dados nacional de espécies exóticas invasoras, I3N Brasil, Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis – SC. [Acesso](http://www.institutohorus.org.br/) em 12/11/2012.www.institutohorus.org.br/

Iucn 2011. *IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2*. <http://www.iucnredlist.org>>. Downloaded on 10 November 2011.

Jolly CJ, Woolley-Barker T, Beyene S, Dissotell TR, Phillipsconroy JE (1997) Intergeneric hybrid baboons. Int. J. Primatol. 18: 597–627.

Lernould JM (1988) Classification and geographical distribution of guenons: a review, pp. 54–78 in *A Primate Radiation: Evolutionary Biology of the African Guenons*, edited by A. Gautier-Hion, F. Bourliere, J. P. Gautier and J. Kingdon. Cambridge University Press, Cambridge.

Linnaeus C (1758) *Systema naturæ per regna tria naturæ :secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*.

Marroig G, Cerqueira R. 1997. Plio-Pleistocene South American history and the Amazon lagoon hypothesis: a piece in the puzzle of amazonian diversification. J Comp Biol 2:103–119.

Marroig G, Cropp S, Cheverud M (2004) Systematics and Evolution of the Jacchus Group of Marmosets (Paltyrhini). American Journal of Anthropology 123: 11-22.

Melo FR (1999). Caracterização molecular de *C. aurita*, *C. flaviceps*, *C. geoffroyi* e seus possíveis híbridos (PRIMATES. CALLITRICHINAE). Dissertação de Mestrado.Universidade Federal de Viçosa – UFV, 62p.

Mendes SL (1989) Sintropia e hibridização entre dois táxons de *Callithrix*, do grupo jacchus. In: Resumos do XVI CBZ, Paraíba: 110.

Mendes SL (1991) Distribuição geográfica e estado de conservação de *Callithrix flaviceps*. In: Resumos do XVIII CBZ, Bahia: 384.

Mendes SL (1997) Hybridization in free-ranging *Callithrix flaviceps* and the taxonomy of the Atlantic Forest Marmosets. Neotropical primates 5(1): 6-8.

Mitchell CE, Agrawal AA, Bever JD, Gilbert GS, Hufbauer RA, Klironomos JN, Maron JL, Morris WF, Parker IM, Power AG, Seabloom EW, Torchin ME,

Vázquez DP (2006) Biotic interactions and plant invasions. *Ecology Letters*, 9: 726–740.

Mittermeier RA, Rylands AB, Coimbra-Filho AF (1988) Systematics: species and subspecies – an update. In: Mittermeier RA, Rylands AB, Coimbra-Filho AF, da Fonseca GAB (eds) *Ecology and behavior of neotropical primates*, vol 2. World Wildlife Fund, Washington, DC, pp 13–75.

Mittermeier RA, Schwitzer C, Rylands AB, Taylor LA, Chiozza F, Williamson EA, Wallis J (2012) (eds.) *Primates in Peril: The World's 25 Most Endangered Primates 2012–2014*. IUCN/SSC Primate Specialist Group (PSG), International Primatological Society (IPS), Conservation International (CI), and Bristol Conservation and Science Foundation, Bristol, UK. 40pp.

Mittermeier RA, Wallis J, Rylands AB, Ganzhorn JU, Oates JF, Williamson EA, Palacios E, Heymann EW, Kierulff MCM, Long Yongcheng, Supriatna J, Roos C, Walker S, Cortés-Ortiz L, Schwitzer C (2009) (eds.). *Primates in Peril: The World's 25 Most Endangered Primates 2008–2010*. IUCN/SSC Primate Specialist Group (PSG), International Primatological Society (IPS), and Conservation International (CI), Arlington, VA. 84pp

Morais Júnior MM (1998) Aspectos ecológicos e morfológicos de um grupo social de possíveis híbridos de *Callithrix* (Callitrichidae: primates) em Viçosa, Minas Gerais. Monografia. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa – UFV, 25p.

Natori M. 1986. Interspecific relationships of *Callithrix* based on the dental characters. *Primates* 27:321–336.

Passamani M, Aguiar LMS, Machado RB, Figueiredo E (1997) Hybridization between *Callithrix geoffroyi* and *Callithrix penicillata* in southeastern Minas Gerais, Brazil. *Neotropical Primates* 5 (1): 9-10.

Pereira RF, Gonçalves AM, Melo FR, Feio RN (1995) Primates from the vicinity of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. *Neotropical Primates* 3(4): 171-173.

Phillipsconroy JE, Jolly CJ (1986) Changes in the structure of the baboon hybrid zone in the Awash National Park, Ethiopia. *Am. J. Phys. Anthropol.* 71: 337–350.

Pianka ER (1999) *Evolutionary ecology*. Addison-Wesley press, Boston. 5^aed. 512p.

Pough FH, Janis CM, Heiser JB (2003) *A Vida dos Vertebrados*. 3 ed. São Paulo: Atheneu. 699p.

Primack RB, Rodrigues E (2001) Ameaças à diversidade biológica. In: Primack, R. B. & Rodrigues, E. (eds.). *Biologia da Conservação*. Londrina, 69-134p.

Rylands AB, Chiarello AG (2003) Official list of Brazilian fauna threatened with extinction. *Neotropical Primates*, Washington. v.11, n.1, p.43-49.

Rylands AB, Coimbra-Filho AF, Mittermeier RA (1993) Systematics, Geographic Distribution, and Some Notes on the Conservation Status of the Callitrichidae. In *Marmosets and Tamarins: Systematics, Behaviour, and Ecology*. Oxford University Press.

Rylands AB, Coimbra-Filho AF, Mittermeier RA (2009) The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and *Callimico* (*Callimico*) (Callitrichidae, Primates). In: Ford SM, Porter LM, Davis LC (eds) *The smallest anthropoids: The marmoset/callimico radiation*. Springer Press, New York. Cap 2, 25-61p.

Rylands AB, Mittermeier RA (2009) The Diversity of the New World Primates (Platyrrhini): An Annotated Taxonomy. *Developments in Primatology: Progress and Prospects*, Part II, 23-54p.

Rylands AB, Mittermeier RA, Rodriguez-Luna E (1997) Conservation of Neotropical Primates: Threatened species and an analysis of primate diversity by country and region. *Folia Primatol.* 68: 134-160.

Rylands AB, Schneider H, Langguth A, Mittermeier RA, Groves CP, Rodriguez-Luna E (2000) An assessment of the diversity of the New World Primates. *Neotropical Primates* 8: 61-93.

Samuels A, Altmann J (1986) Immigration of a *Papio Anubis* male into a group of *cynocephalus* baboons and evidence for an *anubis-cynocephalus* hybrid zone in Amboseli, Kenya. *Int. J. Primatol.* 7: 131–138.

Santos CV, Morais Jr. MM, Oliveira MM, Mikich SB, Ruiz-Miranda CR (2006). Estudos com espécies de primatas invasores e problema: ecologia, comportamento e propostas de manejo In: *A Primatologia no Brasil.*, 10: 101-118.

Stevenson MF, Rylands AB (1988) The marmosets, genus *Callithrix*. In: Mittermeier RA, Rylands AB, Coimbra-Filho A, Fonseca GAB (eds.), *Ecology and behavior of neotropical primates*. World Wildlife Fund, Washington, D.C. 2: 131-222.

Struhsaker TT, Butynsky TM, Lwanga JS (1988) Hybridization between redtail (*Cercopithecus ascanius schmidti*) and blue (*C. mitis stuhlmanni*) monkeys in the Kibale Forest, Uganda, pp. 477-497 in *A Primate Radiation: Evolutionary Biology of the African Guenons*, edited by A. Gautier-Hion, F. Bourliere, J. P. Gautier and J. Kingdon. Cambridge University Press, Cambridge.

Tagliaro CH, Schneider MP, Schneider H, Sampaio IC, Stanhope MJ (1997) Marmoset phylogenetics, conservation perspectives, and evolution of the mtDNA control region. *Mol Biol Evol* 14:674–684.

Trigo TC (2008) Hibridação e introgressão entre espécies de felídeos neotropicais (MAMMALIA, CARNIVORA). Tese de Doutorado apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Vivo M (1991) Taxonomia de Callithrix Erxleben, 1777 (Callitrichidae, Primates). Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, MG, 105 p.

Walker B, Steffen W (1997) An overview of the implications of global change for natural and managed terrestrial ecosystems. *Conservation Ecology*, 1 (2).

Watanabe K, Matsumura T (1991) The borderlands and possible hybrids between 3 species of macaques, *M. nigra*, *M. nigrescens*, and *M. hecki* in the northern peninsula of Sulawesi. *Primates* 32: 365–369.

Williamson M (1996) *Biological Invasion. Population and Community Biology Series*. London. 150 pp.

Wilson DE, Reeder DM (2005) (eds) *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*. 3ed. The Johns Hopkins University Press. Baltimore.

Wyner YM, Johndon SE, Stumpf RM, Desalle R (2002). Genetic assessment of a white collared x red-fronted lemur hybrid zone at Andringitra, Madagascar. *Am. J. Primatol.* 67: 51–66.

Justificativa



Os primatas são importantes indicadores da qualidade ambiental em florestas tropicais, agindo como componentes fundamentais de estratégias para a conservação da biodiversidade em vários níveis, desde países e biomas, até localidades menores (Rylands *et al.*, 1997).

Wilcox & Murphy (1985) apontam como um dos principais impactos degenerativos da diversidade biológica o processo de fragmentação, que acelera os processos de extinção e a evasão local de espécies. Para Chiarello (2003), devido ao tamanho reduzido e ao isolamento da maioria dos fragmentos de floresta que compõem a Mata Atlântica, poucas populações viáveis de primatas são capazes de se manter em longo prazo. Assim, torna-se fundamental o conhecimento sobre o estado de conservação das populações de primatas existentes nestes fragmentos (São Bernardo & Galetti, 2004).

Os primatas dependem do estrato florestal para reprodução, abrigo, locomoção e alimentação, sendo, dessa maneira, muito sensível a impactos que promovam uma alteração na estrutura horizontal e vertical da floresta (Pereira *et al.*, 2003). A exploração florestal de subsistência na cidade de Viçosa, somada ao processo de fragmentação, aumentam a competição intra e interespecífica nas comunidades de primatas da região, colaborando na aceleração dos processos de extinção local (Pereira *et al.*, 1995).

Somado a esse fato, outra consequência da fragmentação de habitats é a hibridação (Morais Júnior, 1998). Frequentemente sugere-se que as zonas híbridas são consequências diretas de distúrbios ou mudanças ambientais (Trigo, 2008). Atualmente, as consequências da ação antrópica sobre a biodiversidade têm sido desastrosas. A ação humana parece acelerar o processo de hibridação através da destruição e/ou criação de habitats, fragmentação de matas, destruição de cadeias alimentares e pela introdução de espécies, o que leva ao contato direto entre populações que se encontravam em fase incipiente de especiação ou altera o tamanho das populações, além de forçar estas a se adaptarem biológica e geneticamente, colocando em risco a diversidade e o equilíbrio biológico. A fragmentação das populações também pode levar ao isolamento, impossibilitando o fluxo gênico. Estas populações tendem a se tornar geneticamente diferentes umas das

outras, mas a diversidade dentro delas é reduzida, visto que cada uma apresenta um tamanho populacional menor do que antes da fragmentação.

Nos fragmentos florestais de Viçosa encontram-se exemplos de possível hibridação entre espécies de *Callithrix* (Pereira *et al*/1995; Melo 1995; Morais Junior 1998). Atualmente essa observação tem sido reforçada pela detecção de grupos de animais apresentando padrões intermediários entre as espécies *C. penicillata* e *C. geoffroyi* (Fuzessy, 2010). Áreas de hibridação para tais espécies já foram descritas por Passamani e colaboradores (1997) para a localidade em questão. Considerando que a espécie nativa da região de Viçosa é o *C. aurita* (Morais Junior 1998; Melo 1999) e que tal espécie já não habita mais as áreas em estudo, se torna importante a compreensão da dinâmica desses grupos, uma vez que os animais identificados como híbridos são férteis, parecem possuir boa adaptabilidade ao ambiente e não evidenciam anomalias físicas (Morais Junior 1998). Caso esses híbridos sejam animais aptos a se estabelecer favoravelmente onde colonizarem podem até mesmo levar populações locais a extinção.

Vivo (1991) afirma em seu trabalho de descrição da taxonomia de *Callithrix Erxleben 1777* que os primatas são animais de orientação essencialmente visual, destacando assim a importância biológica dos padrões de pelagem e coloração, sendo estes decisivos no reconhecimento dos táxons. Considerando que, para que haja cruzamento entre os indivíduos essa orientação visual é fundamental, se torna importante o estudo dos diferentes padrões de coloração encontrados nos animais, já que aparentemente esta variação não tem impedido o acasalamento entre indivíduos de padrões distintos.

Estudos morfológicos são ferramentas importantes na detecção de possíveis zonas híbridas, uma vez que a observação de padrões alterados entre espécies inicialmente consideradas como puras servem como indício de que algum processo de introgressão ou hibridação pode estar ocorrendo em determinada população. Assim como métodos moleculares, a morfologia também é uma ferramenta de construção e análise filogenética, permitindo-se chegar à determinada conclusão num tempo mais reduzido e com um custo menor. Shoshani e colaboradores (1996) exemplificam o fato de a morfologia ser o primeiro sinal da mudança, afirmando que a principal característica

utilizada como justificativa para colocar o gênero *Homo* em uma família separada aos chimpanzés é o tamanho maior do nosso cérebro. Molecularmente, tal característica corresponde a poucas e pequenas mudanças gênicas no nosso DNA, uma vez que dividimos uma ancestralidade comum muito próxima.

Referências Bibliográficas

Chiarello AG (2003) Primates of Brazilian Atlantic forest: the influence of forest fragmentation on survival. In: MARSH, L. K. (Ed) Primates in fragments. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers 99-122.

Fuzessy LF (2010) Descrição Morfométrica e Composição de Grupos Híbridos de *Callithrix* sp. em Viçosa, Minas Gerais. Monografia. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa – UFV, 32p.

Melo FR (1999) Caracterização molecular de *C. aurita*, *C. flaviceps*, *C. geoffroyi* e seus possíveis híbridos (PRIMATES. CALLITRICHINAE). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa – UFV, 62p.

Morais Júnior MM (1998) Aspectos ecológicos e morfológicos de um grupo social de possíveis híbridos de *Callithrix* (Callitrichidae: primates) em Viçosa, Minas Gerais. Monografia. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa – UFV, 25p.
Trigo TC (2008) Hibridação e introgressão entre espécies de felídeos neotropicais (MAMMALIA, CARNIVORA). Tese de Doutorado apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Passamani M, Aguiar LMS, Machado RB, Figueiredo E (1997) Hybridization between *Callithrix geoffroyi* and *Callithrix penicillata* in southeastern Minas Gerais, Brazil. Neotropical Primates 5 (1): 9-10.

Pereira RF, Pengel HO, Melo CC (2003) O impacto ambiental da exploração florestal de subsistência na fauna de primatas. Brasil Florestal. 78: 61-65.
Pereira RF, Gonçalves AM, Melo FR, Feio RN (1995) Primates from the vicinity of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. Neotropical Primates 3(4): 171-173.

Rylands AB, Mittermeier RA, Rodriguez-Luna E (1997) Conservation of Neotropical Primates: Threatened species and an analysis of primate diversity by country and region. Folia Primatol. 68: 134-160.

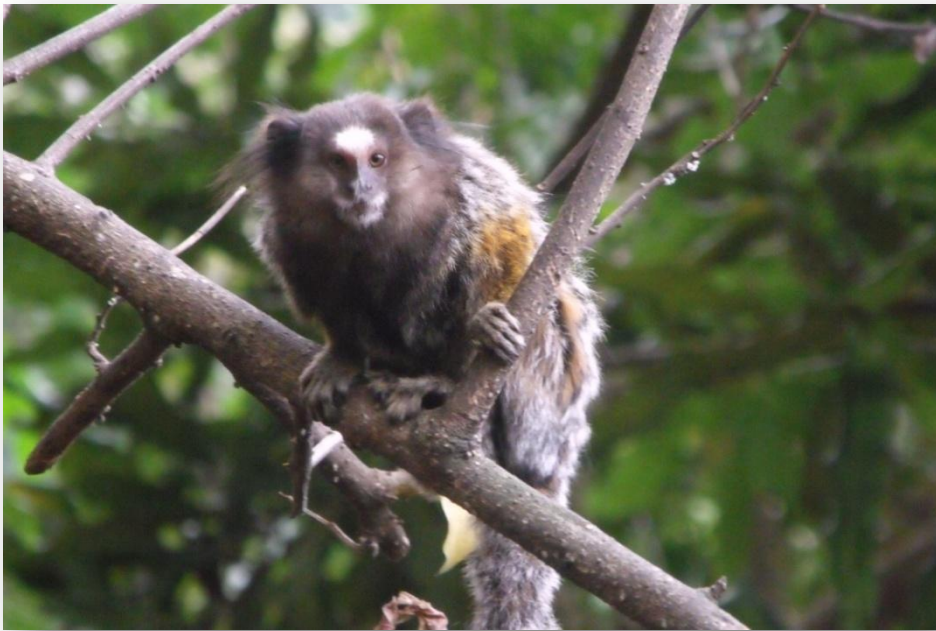
São Bernardo CS, Galetti M (2004) Densidade e tamanho populacional de primatas em um fragmento florestal no sudeste do Brasil. Rev. Bras. de Zoologia. 21(4): 827 – 832.

Shoshani JS, Groves CP, Simons EL, Gunnell GF (1996) Primate Phylogeny: Morphological vs Molecular Results. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 5:102-154.

Vivo, M (1991) Taxonomia de *Callithrix* Erxleben, 1777 (Callitrichidae, Primates). Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte

Wilcox BA, Murphy DD (1985) Conservation Strategy: the effects of fragmentation on extinction. *American Naturalist* 125: 879-887.

Objetivos



Objetivo Geral

O presente estudo buscou diagnosticar, caracterizar morfometricamente e descrever o padrão de coloração e pelagem de indivíduos pertencentes a grupos de primatas híbridos do gênero *Callithrix* em fragmentos florestais da cidade de Viçosa – MG e comparar os dados obtidos com as espécies parentais.

Objetivos Específicos

- Identificar a existência de animais híbridos entre espécies introduzidas no campus da Universidade Federal de Viçosa;
- Descrever a composição dos grupos;
- Descrever morfometricamente (peso e medidas corpóreas) animais híbridos de vida livre da região de Viçosa;
- Descrever morfometricamente (peso e medidas corpóreas) representantes de *Callithrix penicillata* de vida livre das regiões de Brasília, DF e Goiânia GO;
- Descrever morfometricamente (peso e medidas corpóreas) representantes de *Callithrix geoffroyi* de vida livre da região de Vitória e Vila Velha, ES.
- Comparar os dados morfométricos dos híbridos com aqueles obtidos de indivíduos representantes das áreas de distribuição natural das espécies parentais (Brasília-DF, Goiânia-GO e Vitória-ES);
- Descrever a pelagem da face, dorso e cauda de animais híbridos de vida livre da região de Viçosa;
- Analisar a pelagem da face, dorso e cauda de representantes de *Callithrix penicillata* de vida livre das regiões de Brasília, DF e Goiânia GO;
- Analisar a pelagem da face, dorso e cauda de representantes de *Callithrix geoffroyi* de vida livre da região de Vitória e Vila Velha, ES;
- Comparar os padrões de coloração de pelagem observados para os híbridos com aqueles obtidos de indivíduos representantes das áreas de distribuição natural das espécies parentais (Brasília-DF, Goiânia-GO e Vitória-ES).

Body Size of Wild Hybrid Individuals Genus *Callithrix* and their Comparison to Parental Species

Fuzessy LF¹, Silva IO¹, Silva FFR¹, Malukiewicz J³, Pônzio MC¹, Boere V²

1 - Departamento de Biologia Animal, Av. P. H. Rolfs s/nº, 36570-000. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

2 - Departamento de Enfermagem e Medicina, Av. P. H. Rolfs s/nº, 36570-000. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

3 - School of Life Sciences, Arizona State University, P.O. Box 874601. Tempe, AZ 85287-4601, USA

ABSTRACT

New World monkeys of Callithrichinae subfamily show remarkable variation in body size and are considered phyletic dwarves. Nevertheless, studies on the morphometry of this group are scarce in the scientific literature as most studies have been restricted to body weight analysis and compilation of metadata from previous studies. Most of the previous work is based on mixed samples between wild and captive animals (mostly *Callithrix jacchus*). In this paper, we characterize the external morphometry (tail length (T); body length (B); ear – left (EL) and right (ER); intercranial-lateral distance (ILD); fronto-occipital distance (FOD); wrist-longer claw - left (WLCL) and right (WLCR); femur length – left (FL) and right (FR); calcaneus-longer claw - left (CLCL) and right (CLCR)) of wild pure and hybrid *C. penicillata* and *C. geoffroyi* individuals in order to highlight variation between the three forms. The study involved 79 marmosets (40 hybrids of *C. penicillata* and *C. geoffroyi*, 22 *C. penicillata*, and 17 *C. geoffroyi*). No statistical difference between males and females was found. Measures used in this paper characterize the form of marmosets rather than body size. The three species are statistically similar in body length. In hybrids and *C. penicillata*, we noted a similarity in head measures and body mass, whereas there is greater similarity between the hybrids and *C. geoffroyi* in limb measures. Morphometric measures may represent bodily changes as a result of hybridization between pure parental forms, indicating heterosis. The present results add some missing data to marmosets' classical morphometry,

showing external body measurements never before studied. Moreover, this is the first study comparing *Callithrix* hybrid morphometry with parental species.

Keywords: Hybridization – Morphometric variability - *Callithrix*

INTRODUCTION

Morphometry is the study of form and its relation to size (Peres-Neto 1995). Different reasons arouse interest in morphometric studies: while taxonomists measure the differences between species, ecologists relate the shape and size of an individual with their food, habitat use, selective pressure, competition, predation, etc., since the morphology of an organism is the result of their evolution (Peres-Neto 1995). New World monkeys of the Callithrichinae subfamily show remarkable variation in body size presenting an overall reduction in size over evolutionary time (Marroig and Cheverud 2005), phenomenon known as phyletic dwarfism. Nevertheless, studies on the morphology and morphometry of New World monkeys are scarce in the scientific literature, except for the description of holotypes (Burity *et al* 2007). Most morphometric studies in callithrichids have been restricted to body weight analysis and compilation of data originating from previous studies, in which the information was based on mixed sampling of wild and captive animals, most of *C. jacchus* (Burity *et al* 2007).

The Atlantic Forest marmosets (genus *Callithrix*) are a diverse group of platyrrhine primates that are part of the Callithrichidae family. The *Callithrix* genus is a relatively young, recent monophyletic radiation (Cortés-Ortiz 2009) with changes in body size and concomitant changes in their life history, ecology, and morphology (Marroig and Cheverud 2009). The evolution of marmosets/callimicos as a small-body clade, reaching its extreme in the pygmy marmosets, occurred due to a heterochronic process where prenatal growth rates were reduced. This contrasts with other pygmy mammals where miniaturization is primarily postnatal (Marroig and Cheverud 2009).

The study of *Callithrix* morphometry began in 1927 with Beattie and continued with Hill (1957) and Hershkovitz (1977). Most of the recent studies on some morphological aspects of this genus focus on body weight (Ford and Davis 1992, Burity *et al* 2007), craniometrical measurements (Natori 1994a, Natori and Kobayashi 1995), and dental values (Natori 1994b). Thus, researchers have not thoroughly studied the morphometric variation in several external body parts (size and proportions) observed across the marmosets populations. Some data are found in Burity *et al* (2007) for head-body length in

a few marmoset species; Boere *et al* (2005) describes tail length and body length for *C. penicillata*, Vivo (1991) shows tail and head-body length measurements in several *Callithrix* species; and finally, Hershkovitz (1977) describes tail length, head-body length and intercranial-lateral distance also in several marmoset species. However, there are no morphometric studies comparing *C. geoffroyi* and *C. penicillata* nor have comparisons been made with their hybrids. Whereas phenotypic variations between populations are the result of the genotype and the environmental effect, studies of size and shape of individuals become important as complementary for genetic and ecological data, especially where environmental influences are parallel between populations.

Hybridism is a natural or human-induced phenomenon in animals. Sympatry and natural hybridization among the different species of *Callithrix* genera have been reported in the last 25 years, and cases of fertile hybrids in natural environments have been observed mainly in the states of Minas Gerais, Espírito Santo, and Bahia (Alonso *et al* 1987, Pereira *et al* 1995, Passamani *et al* 1997, Aguiar *et al* 2007a 2007b). The city of Viçosa has a population of well-defined hybrid marmosets that live in the fragmented Atlantic forests (Pereira *et al* 1995, Passamani *et al* 1997).

In this paper we characterize the external morphometry of 79 wild individuals of *C. penicillata*, *C. geoffroyi*, and hybrid individuals aiming to test phenotypic evidences of hybridization. Those hybrids are found in a Viçosa Atlantic forest fragment. Data obtained were collated, highlighting comparisons between hybrids and parental species.

METHODS

Animals Studied

To test phenotypic evidence of hybridization, the study involved the following 79 marmosets (Erleben, 1777): 40 *C. penicillata* x *C. geoffroyi* hybrids, 22 pure *C. penicillata* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1812) and 17 pure *C. geoffroyi* (Humboldt, 1812). Hybrids individuals were composed of 19 males (15 adults and four juveniles) and 21 females (14 adults and seven juveniles) from five wild groups (see Table 1). Those groups were distributed over a semideciduous submontane 75 ha forest fragment located inside the campus of the Federal University of Viçosa, Southeastern Brazil (S20°45' 25" and W42°51'54"). They were identified by their differentiated morphological characteristics. They exhibit typical hybrid morphotypes concerning face and body coloration, showing a polymorphism with respect to their color patterns, such that five different graded patterns of lines, contours, colors, and shapes were identified (in publishing data). *C. penicillata* individuals were made up of 13 males and nine females, all adults. The individuals were distributed across many cerrado fragments around the cities of Brasília (S15°46'48" and W47°55'45") and Goiânia (S16°40'39" and W49°16'03"), in central Brazil. Finally, *C. geoffroyi* individuals were composed of eight males (two juveniles and six adults) and nine females (one juvenile and eight adults). The individuals were distributed throughout the campus of the Federal University of Espírito Santo, Espírito Santo, Southeastern Brazil (S20°16'39" and W40°18'11") and throughout an Atlantic forest fragment at Convento Nossa Senhora da Penha (S20°19'45" and W40°17'12"), Vila Velha, Espírito Santo, Southeastern Brazil.

Age-classes were defined according to Yamamoto (1993) observing dental characteristics and the genitalia growth: juvenile animals between 5 and 10 months old and adult animals above 11 months old. All juveniles in this study were at least 9-10 months old. All groups had some level of human contact, so they were habituated to human presence.

The marmosets were captured with a multiple-entrance trap and anesthetized using ketamine hydrochloride (Vetaset, Fort Dodge, Kansas, USA) at 10 mg/kg of body weight and with xylazine hydrochloride (Anasedan, Divisão Vetbrands Saúde Animal, São Paulo, Brazil) at 0.5 mg/kg of body weighed

immediately after the trapping (Carpenter 2005). To avoid stressing the group, no infants and pregnant females were ever captured. After collecting the biological data (see below), the marmosets were kept in a warm and darkened room until they recovered from the anesthesia. Four hours after, the animals were released in the same location where they were captured. All protocols and procedures used were reviewed by the Ethic Committee in Animal Use/UFV (number: 89/2011) and SISBIO/ICMBio (number: 28632-1).

Measurements

Captured individuals were measured with tape-measure and caliper (King. Tools) and weighed while under anesthesia. The primates were measured according to the methods described by Nagorsen and Peterson (1980). The following measurements were made on each captured individual (cm): tail length (T); body length (B); ear – left (EL) and right (ER); intercranial-lateral distance (ILD); fronto-occipital distance (FOD); wrist-longer claw - left (WLCL) and right (WLCR); femur length – left (FL) and right (FR); calcaneus-longer claw - left (CLCL) and right (CLCR).

Statistical analysis

The comparisons of morphometrical data and weight were analyzed with a Student's *t*-test for independent samples using SPSS 20.0. Differences were considered significant at $p < 0.05$ with two-tailed distribution. Ordination methods analysis was also performed via principal component analysis (PCA) using StatSoft Statistica 2011. PCA reduces the dimensions of a data group, producing few numbers of independent variables, which are incorporated to most parts of the original information, and obtaining information about the existence of patterns, with the samples being related to the variables (Monteiro and Reis, 1999).

RESULTS

Composition of hybrid groups

Table 1 shows the composition of each group (Belvedere 1, Belvedere 2, Casa 32, Casa 41 and Casa 50). The mean for the five hybrid groups is 11.4 individuals per group, with 4.6 females (juveniles and adults), 3.8 males (juveniles and adults), and 2.8 infants. A dominant breeding female and male pair were detected for each group. All analyzed individuals showed a hybrid appearance.

No information on the *C. peicillata* and *C. geoffroyi* pure groups were obtained, since captured individuals belong to many groups not yet thoroughly studied.

TABLE 1 – Size and Composition of the hybrid groups

Group	Male		Female		Infants	Total
	Juveniles	Adults	Juveniles	Adults		
Belvedere 1	2	5	2	4	4	17
Belvedere 2	2	1	1	3	2	9
Casa 32	0	3	1	4	2	10
Casa 41	0	2	1	3	2	8
Casa 50	1	3	2	3	4	13
Mean	3.8		4.6		2.8	11.4

Student's T-test

No significant difference was found between juveniles and adults, male and female ($p > 0.05$) and separated analyses obtained the same result both pure and hybrids. Thus, all individuals were analyzed together.

As seen in Table 2, the *t*-test between *C. penicillata* and *C. geoffroyi* showed that individuals of the former have body measurements statistically smaller than the latter, with the only similarity being body length.

TABLE 2 - Independent-samples T-test comparing factors between *Callithrix penicillata* and *Callithrix geoffroyi*

Variable	<i>C. penicillata</i> mean(SD)	<i>C. geoffroyi</i> mean(SD)
W	327.27(47.12)	390.23(54.20)*
T	28.77(1.15)	33.12(1.59)*
B	18.13(0.90)	18.68(1.27) ^{NS}
ILD	3.18(0.19)	3.35(0.24)*
FOD	5.97(0.41)	6.71(0.46)*
ER	2.34(0.16)	2.53(0.16)*
EL	2.28(0.16)	2.52(0.14)*
WLRCR	3.54(0.35)	3.81(0.30)*
WLCL	3.51(0.31)	3.76(0.27)*
FR	6.06(0.39)	6.79(0.29)*
FL	6.04(0.32)	6.79(0.31)*
CLCR	5.65(0.31)	6.00(0.30)*
CLCL	5.59(0.24)	6.00(0.31)*

Tail length (T); body length (B); ear – left (EL) and right (ER); intercranial-lateral distance (ILD); fronto-occipital distance (FOD); wrist-longer claw - left (WLCL) and right (WLRCR); femur length – left (FL) and right (FR); calcaneus-longer claw - left (CLCL) and right (CLCR)

Note. Weigh is in g, morphometrics in cm.

*p<0.05; NS – Not Significant

Comparing the parental measurements with the hybrid groups (Table 3), we found that the three species are statistically similar in body length. Furthermore, we see a greater resemblance between the hybrids and *C. geoffroyi* than with *C. penicillata* concerning limb measures since the similarities between them are found in the wrist-longer claw (left and right), femur (left and right), calcaneus-longer claw (left and right) and ear (left and right).

Among hybrids and *C. penicillata* we note a similarity in the head measures (intercranial-lateral distance and fronto-occipital distance) and the body mass (weight).

TABLE 3 - Independent-samples *t*-test comparing factors between parental species with hybrids

Variable	Hybrid mean(SD)	<i>C. penicillata</i> mean(SD)	<i>C. geoffroyi</i> mean(SD)
W	314.72(49.93)	327.27(47.12) ^{NS}	390.23(54.20)*
T	30.70(3.56)	28.77(1.15)*	33.12(1.59)*
B	18.47(2.04)	18.13(0.90) ^{NS}	18.68(1.27) ^{NS}
ILD	3.11(0.24)	3.18(0.19) ^{NS}	3.35(0.24)*
FOD	6.08(0.61)	5.97(0.41) ^{NS}	6.71(0.46)*
ER	2.54(0.24)	2.34(0.16)*	2.53(0.16) ^{NS}
EL	2.53(0.25)	2.28(0.16)*	2.52(0.14) ^{NS}
WLCL	3.84(0.26)	3.54(0.35)*	3.81(0.30) ^{NS}
WLCL	3.81(0.34)	3.51(0.31)*	3.76(0.27) ^{NS}
FR	6.65(0.39)	6.06(0.39)*	6.79(0.29) ^{NS}
FL	6.67(0.39)	6.04(0.32)*	6.79(0.31) ^{NS}
CLCR	5.90(0.34)	5.65(0.31)*	6.00(0.30) ^{NS}
CLCL	5.88(0.31)	5.59(0.24)*	6.00(0.31) ^{NS}

Tail length (T); body length (B); ear – left (EL) and right (ER); intercranial-lateral distance (ILD); fronto-occipital distance (FOD); wrist-longer claw - left (WLCL) and right (WLCL); femur length – left (FL) and right (FR); calcaneus-longer claw - left (CLCL) and right (CLCR)

Note. Weigh is in g, morphometrics in cm.

**p*<0.05; NS – Not Significant

Principal Component Analyses

The correlation of Factor 1 and Factor 2 of the PCA plotted comparing *C. geoffroyi* and *C. penicillata* (Figure 1) demonstrates the two first axes representing 62.54 percent of morphometric variance. It is possible to identify shared features between the species, with *C. geoffroyi* tending to the left side of the plot, and *C. penicillata* tending to the right side, indicating a real morphologic difference between them.

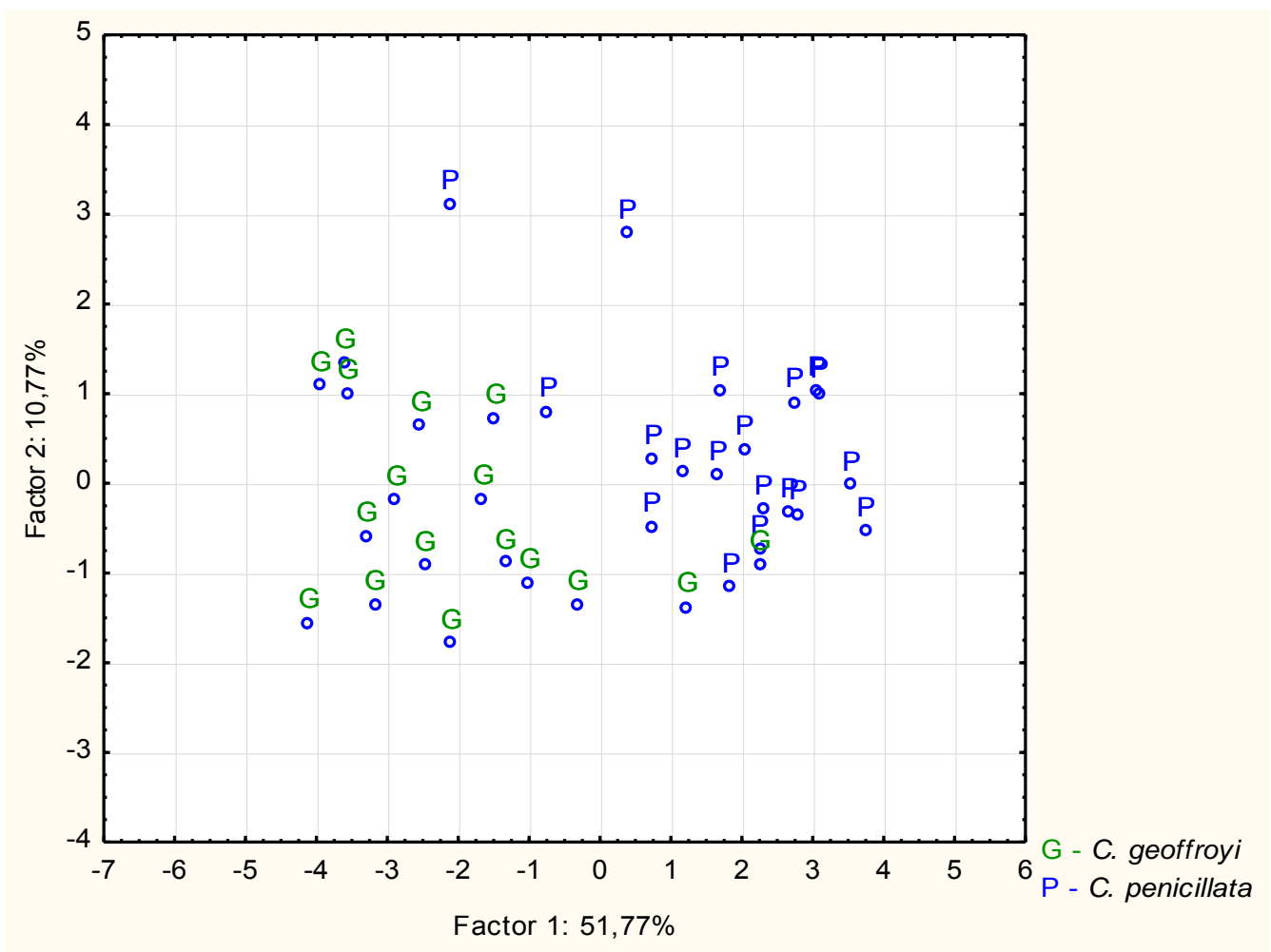


FIGURE 1: Graphic distribution of factor scores - Factor 1 and Factor 2 representation of principal components analysis comparing *C. geoffroyi* and *C. penicillata* distribution

The negative charges of all coefficients in Factor 1 (Table 4) suggest that the variables in the study relate negatively with this factor, indicating that it is a component that characterizes the shape of marmosets.

TABLE 4: Charges of factor score for body measurements in the first two factors of PCA for *C. penicillata* and *C. geoffroyi*

Measurements	Factor 1	Factor 2
T	-0,790001	-0,195199
B	-0,256961	-0,343009
ILD	-0,867339	0,079513
FOD	-0,899664	0,107672
ER	-0,811742	-0,095322
EL	-0,870092	-0,073845
WLCR	-0,642766	0,200835
WLCL	-0,652390	-0,316279
FR	-0,439969	-0,235936
FL	-0,634767	-0,599566
CLCR	-0,737052	0,514462
CLCL	-0,752272	0,532513
Explored Variance	6,212210	1,291966
Proportion Total	0,517684	0,107664

Figure 2 illustrates the correlation of Factor 1 and Factor 2, comparing the hybrid individuals with the parental species. In this case, the two first factors represented 53.03 percent of morphometric variance, indicating the presence of a little more “noise” in this variation. This plot does not show a tendency for complete segregation between the three groups under study. Although it is noted again that *C. geoffroyi* tends to cluster together in the left side and *C.*

penicillata in the right side of the plot. Also, hybrids appear spread over the quadrants and in the center, demonstrating a certain intermediate position in relation to the parental species, as some hybrid points can be seen near *C. geoffroyi* individuals while others are detected near *C. penicillata* individuals, and others are even closer to the center.

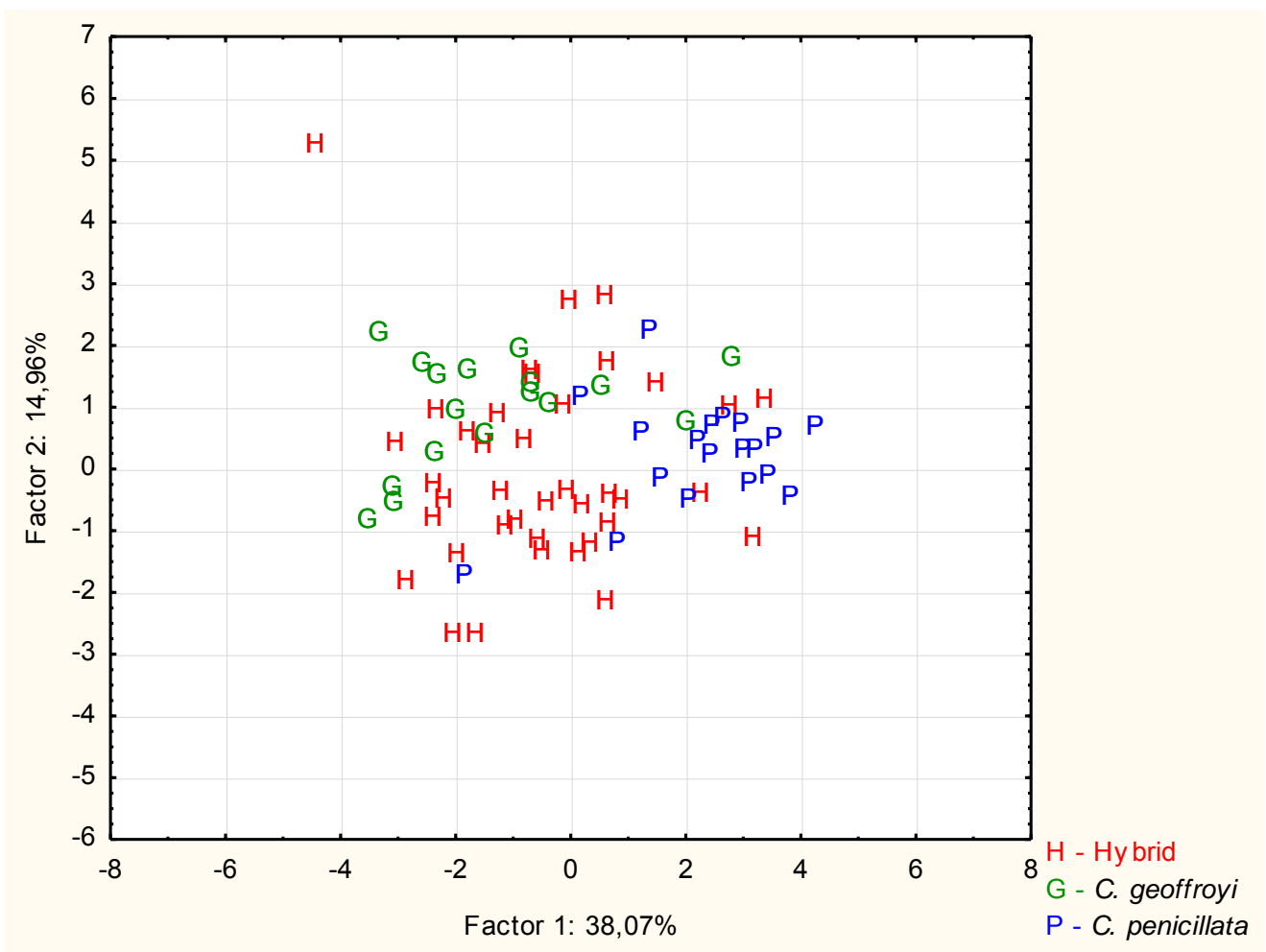


FIGURE 2: Graphic distribution of factor scores - Factor 1 and Factor 2 representation of principal components analysis calculated for 13 morphometric characters comparing the three species: Hybrids, *C. geoffroyi* and *C. penicillata*

The negative charges of all coefficients in Factor 1 for Hybrid, *C. penicillata* and *C. geoffroyi* (Table 5) also suggest that the variables in the study relate negatively with this factor, indicating once again that it is a component that characterizes the shape of marmosets.

TABLE 5: Charges of factor score for body measurements in the first two factors of PCA for Hybrid, *C. penicillata* and *C. geoffroyi*

Measurements	Factor 1	Factor 2
T	-0,539448	0,186975
B	-0,309354	-0,369835
ILD	-0,683399	-0,378974
FOD	-0,836028	-0,132052
ER	-0,744233	-0,025401
EL	-0,787795	0,013724
WLCR	-0,609281	0,459948
WLCL	-0,566164	0,556277
FR	-0,155392	0,606574
FL	-0,426439	0,530206
CLCR	-0,659730	-0,365999
CLCL	-0,712710	-0,397145
Explored Variance	4,568148	1,795355
Proportion Total	0,380679	0,149613

DISCUSSION

Based on the composition and size of the hybrid groups of Viçosa, we conclude that hybridization didn't change social composition of groups neither the groups' size. The data agree with group sizes described for the *Callithrix* genus by Stevenson and Rylands (1988) (4 to 15 individuals) but are closer to that described for *C. penicillata* (5 to 14 individuals) than to that described for *C. geoffroyi* (3 to 5 individuals) (Passamani and Rylands, 2000). The hybrid groups are well-adapted to this area, due to the observation of groups with large number of members in an extended family conformation, in accordance with the literature for *Callithrix* species.

In New World primates hybridization records occurs in 8 of the 132 species (Coimbra-Filho et al., 1993; Peres et al., 1996; Mendes, 1997). Cases of fertile hybrids in wild life presenting intermediate characteristics between parental species have been described in the past 30 years in Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia and Rio Grande do Sul (Alonso et al., 1987; Mendes, 1989; Pereira et al., 1995; Passamani et al., 1997; Aguiar et al., 2007; Biccamarques et al., 2008). The results observed in this study contribute to increase such observations. In the case of genus *Callithrix*, it is believed that the accentuated hybridization process is due to a close phylogenetic relationship between individuals. Phylogenetic studies based on morphological data conducted by Marroig et al (2004) for marmosets' species highlight a close relationship between *Callithrix geoffroyi* and *Callithrix penicillata*, focus of this study. Molecular studies (Tagliaro et al 1997) suggest hypotheses for hybridization: an ancestral polymorphism between the parental species (an ancestral phenotypic variation that can be separated into distinctly defined classes) may result in alleles segregating up to the present among individuals of the genre in question.

It is important to note that Viçosa is a region of introducing species. Furthermore it is positioned in a critical region of marmoset distribution, with this being the natural region of *C. aurita*, but very close to the distribution limit of *C. penicillata* and *C. geoffroyi* (Tagliaro et al., 1997; Marroig et al., 2004; Rylands et al., 2009). Whereas *C. aurita* no longer inhabits studied areas in the forest

fragments of Viçosa, individuals have been found with either an intermediate coat color (in publishing data) or morphometric patterns necessitating the conservation of native species before new individuals invade this area. Some *Callithrix* species exhibit a flexible behavior, such as *C. penicillata* (Stevenson and Rylands, 1988), considered an important example of an introduced and invasive Brazilian species (Hórus Institute, 2011).

This study confirms the statement of Marroig and Cheverud (2009) that sexual dimorphism was suggested to be nonexistent for most traits or only slightly developed in marmosets, also confirms the findings of Ford and Davis (1992) and Burity et al. (2007) that the *Callithrix* genus was monomorphic considering body weight, since no statistical difference was found between males and females regarding body measurements and weight.

Morphometric studies by Natori (1994a; 1994b) and by Natori and Kobayashi (1995) on the *Callithrix* genus based on odontometric and craniometric variables reported the similarity among the *C. kuhli*, *C. geoffroyi* and *C. aurita* species, differentiating them from the *C. jacchus* and *C. penicillata*. This information agrees with what was found in the present study for external measurements, since significant differences were observed between *C. geoffroyi* and *C. penicillata*, except for body length.

Morphometrics measures may represent bodily changes as a result of hybridization between pure parental forms, indicating heterosis or interbreeding in hybrid populations (Coimbra-Filho, 1984). *Callithrix* sp. hybrids from Viçosa show mixed characteristics between parental species, since the measures of their lower and upper limbs are similar to *C. geoffroyi*, whereas head measures are similar to *C. penicillata*. Whereas *C. geoffroyi* essentially occupies low altitude Atlantic forest areas and *C. penicillata* is commonly found across cerrado fragments (Vivo, 1991), it is justifiable to affirm such resemblance concerning limb size since Viçosa is an Atlantic Forest region, thus being similar in horizontal and vertical displacement difficulties. The observation of *C. penicillata* having body measurements statistically smaller than *C. geoffroyi* is in agreement with Marroig et al (2004), who state that *C. geoffroyi* is larger than *C. penicillata* due to a general trend across *Callithrix* species of increased size at more southerly latitudes. On the other hand, the similarity between *Callithrix* hybrids and *C. penicillata* on head morphology is an advantage to

obtain exudates of trees due to strong masticatory muscle and force of mandibles. Observations on hybrids *Callithrix* in Viçosa confirm that all groups are intensive tree exudates explorers.

PCA graphics reinforce the mixture of observed characteristics, illustrating the separation between *C. geoffroyi* and *C. penicillata* points in the graph while hybrids are scattered among the two parental species. This is in agreement with that expected for hybrids, which are considered as intermediate forms between parental species (Primack and Rodrigues, 2001). Furthermore, the PCA results show measures used in this paper characterize the form of marmosets, rather than body size.

Morphologic studies are important tools detecting potential hybrid zones, since the observation of intermediate or altered patterns between species considered pures can be an evidence of some hybridization or introgression process in the population. As molecular methods, morphology is also a construction tool of phylogenetic analysis, leading to important conclusions in a short time and at lower cost. Shoshani et al (1996) exemplify the morphology as the first sign of change, stating that the main feature used as justification to put *Homo* in a separate family to chimpanzees is the larger size of our brain. Molecularly, this feature corresponds to a few small changes in our genetic DNA, since we share a very close common ancestry.

Present results added some missing data to marmosets' classical morphometry, showing external body measurements never before studied. Moreover, this is the first study comparing *Callithrix* hybrid morphometry with parental species.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank CAPES- REUNI for grant to LF Fuzessy.

REFERENCES

- Aguiar, L. M., Mellek, D. M., Abreu, K. C., Boscarato, T. G, Bernardi P. B. , Miranda, J. M. D., Passos F. C. 2007a. Sympatry between *Alouatta caraya* and *Alouatta clamitans* and the rediscovery of free-ranging potential hybrids in Southern Brazil. *Primates* 48:245–24.
- Aguiar, L. M., Pie, R. P., Passos, F. C. 2007b. Wild mixed groups of howler species (*Alouatta caraya* and *Alouatta clamitans*) and new evidence of their hybridization. *Primates* 49:149–152
- Alonso, C., Faria, D. S., Langguth, A., Santee, D. P. 1987. Variação na pelagem na área de integração entre *C. jacchus* e *C. penicillata*. *Braz J Biol* 47:465-470
- Beattie, J. 1927 The anatomy of the common marmoset (*Hapale jacchus*, Kuhl) Proceedings of Zoological Society London 3/4:599-718.
- Bicca-Marques. J. C., Prates, H. M., Aguiar, F. R. C., Jones, C. B. 2008 Survey of *Alouatta caraya*, the black-and-gold howler monkey, and *Alouatta guariba clamitans*, the brown howler monkey, in a contact zone, State of Rio Grande do Sul, Brazil: evidence for hybridization. *Primates* (2008) 49:246–252
- Boere, V., Pinheiro, E. C., Silva, I. O., Paludo, G. R., Canale. G., Pianta. T., Welker, A., Rocha de Moura, R. C. 2005. Comparison between sex and age class on some physiological, thermal and hematological indices of the cerrado's marmosets (*Callithrix penicillata*). *Journal of Medical Primatology*, 34: 156-162.
- Burity, C. H. F., Pissinatti, A., Souza, A. M. 2007. Morphometry and allometry of outer body in three species of the genus *Callithrix* Erxleben, 1777 (*Callitrichidae*, *Primates*). *Revista Brasileira de Zootecias* 9(2): 177-184
- Carpenter, J. W. (2005) *Exotic animal formulary*. Elsevier Saunders, 3rd Ed. Missouri: *Elsevier Saunders Inc.*
- Coimbra-Filho, A. F. 1984. Situação atual dos calitriquídeos que ocorrem no Brasil (*Callitrichidae*–*Primates*). In: de Mello, M. T. (ed) *A Primatologia no Brasil*. Sociedade Brasileira de Primatologia, Brasília, pp 15–33.
- Coimbra-Filho, A. F., Pissinatti, A., Rylands, A. B. 1993. Experimental multiple hybridism among *Callithrix* species from eastern Brazil. In: Rylands, A. B. (ed) *Marmosets and tamarins: systematics, ecology, and behaviour*. Oxford University Press, Oxford, pp 95–120
- Cortés-Ortiz, L. 2009. Molecular phylogenetics of the *Callitrichidae* with an emphasis on the marmosets and *Callimico*. In: Ford, S. M., Porter, L. M., Davis, L. C. (eds) *The smallest anthropoids: The marmoset/callimico radiation*. Springer Press, New York, cap 1, pp 3–24

Ford, S. M., Davis, L. C. 1992. Systematics and body size: implications for feeding adaptations in New World Monkeys. *American Journal of Physical Anthropology* 88:415-468.

Hershkovitz, P. 1977 *Living New World Monkeys (Platyrrhini)*. University of Chicago Press, Chicago

Hill, W. C. O. 1957. *Primates. Comparative Anatomy and Taxonomy. Pithecoidea*. Edinburgh, University Press, VIII + 354p.

Hórus institute 2011 National Data Base of Invasive Introduced Species, I3N Brazil, Florianópolis, SC. Website: www.institutohorus.org.br. Accessed 12 november 2011.

Marroig, G., Cheverud, J. M. 2005. Size as a line of least evolutionary resistance: Diet and adaptive morphological radiation in New World Monkeys. *Evolution* 59:1128–1142.

Marroig, G., Cheverud, J. M. 2009. Size and Shape in Callimico and Marmoset Skulls: Allometry and Heterochrony in the Morphological Evolution of Small Anthropoids. In: Ford, S. M., Porter, L. M., Davis, L. C. (eds) *The smallest anthropoids: The marmoset/callimico radiation*. Springer Press, New York, cap 17, pp 331–353.

Marroig, G., Cropp, S., Cheverud, J. M. 2004. Systematics and Evolution of the Jacchus Group of Marmosets (Platyrrhini). *American Journal of Physical Anthropology* 123:11-22.

Mendes, S. L. 1989. Sintropia e hibridização entre dois táxons de *Callithrix*, do grupo jacchus. In: *Resumos do XVI CBZ, Paraíba*: 110.

Mendes, S.L. 1997. Hybridization in free-ranging *Callithrix flaviceps* and the taxonomy of the Atlantic Forest Marmosets. *Neotropical primates* 5(1): 6-8.

Monteiro, L. R. and Reis, S. F. 1999. *Princípios de Morfometria Geométrica*. Ribeirão Preto: ed. Holos. 198p.

Nagorsen, D. W. and Peterson, R. L. 1980. *Mammal Collectors Manual*. The Royal Ontario Museum, Toronto

Natori, M. 1994a. Craniometrical variations among eastern Brazilian Marmosets and their systematic relationships. *Primates* 35:167-176.

Natori, M. 1994b. Metrical variations of the dentition in *Callithrix* species and their evolutionary relationships. *Anthropologic Science* 102:119-127.

Natori, M. and Kobayashi, S. 1995. Cranial morphology of eastern brazilian marmosets. *Kyoto University Overseas Research* 9:23-30.

- Passamani, M., Aguiar, L. M. S., Machado, R. B., Figueiredo, E. 1997. Hybridization between *Callithrix geoffroyi* and *Callithrix penicillata* in southeastern Minas Gerais, Brazil. *Neotropical Primates*, 5 (1): 9-10.
- Pereira, R. F., Gonçalves, A. M., Melo, F. R., Feio, R. N. 1995. Primates from the vicinity of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. *Neotropical Primates* 3(4): 171-173.
- Peres, C. A., Patton, J. L., Da Silva, M. N. F. 1996. Riverine barriers and gene flow in Amazonian saddle-back tamarin monkeys. *Folia Primatol* 67:113-124
- Peres-Neto, P. R. 1995. Introdução a análises morfométricas. O ecologia brasiliensis: vol II. Rio de Janeiro. p57-89.
- Primack, R. B. and Rodrigues, E. (2001) Ameaças à diversidade biológica. In: Primack, R. B. and Rodrigues, E. (eds.). *Biologia da Conservação*. Londrina, 69-134p.
- Rylands, A. B., Coimbra-Filho, A. F., Mittermeier, R. A. 2009. The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and *Callimico* (*Callimico*) (*Callitrichidae*, *Primates*). In: Ford SM, Porter LM, Davis LC (eds) *The smallest anthropoids: The marmoset/callimico radiation*. Springer Press, New York. Cap 2, 25-61p.
- Shoshani, J. S., Groves, C. P., Simons, E. L., Gunnell, G. F. 1996. Primate Phylogeny: Morphological vs Molecular Results. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 5:102-154.
- Stevenson, M. F. and Rylands, A. B. 1988. The marmosets, Genus *Callithrix*. In: Mittermeier, R.A. et al. (Eds.) *Ecology and behavior of Neotropical Primates*. Washington: v.2. p.131-222.
- Tagliaro, C. H., Schneider, M. P., Schneider, H., Sampaio, I. C., Stanhope, M. J. 1997. Marmoset phylogenetics, conservation perspectives, and evolution of the mtDNA control region. *Mol Biol Evol* 14:674–684.
- Vivo, M. 1991. *Taxonomia de Callithrix Erxleben, 1777 (Callitrichidae, Primates)*. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, MG, 105 p.
- Yamamoto, M. E. 1993. From Dependence to Sexual Maturity: The Behavioural Ontogeny of *Callitrichidae*. In: Rylands AB (ed) *Marmosets and Tamarins: Systematics, Ecology and Behaviour*. Oxford University Press, Oxford pp 235-254

Artigo 2 – Descrição da Pelagem



Pelage Description and Variation on Wild Marmosets Hybrids Genus *Callithrix*(Callitrichidae) in the Forest Zone of Minas Gerais

Fuzessy LF¹, Silva IO¹, Silva FFR¹, Malukiewicz J³, Boere V²

1 - Departamento de Biologia Animal, Av. P. H. Rolfs s/nº, 36570-000. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

2 - Departamento de Enfermagem e Medicina, Av. P. H. Rolfs s/nº, 36570-000. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

3 - School of Life Sciences, Arizona State University, P.O. Box 874601. Tempe, AZ 85287-4601, USA

ABSTRACT

Hybridization is the interbreeding of individuals from distinct populations that results in the production of mixed ancestry offspring of mixed ancestry. Hybridization has several evolutionary results such genetic introgression, transgressive segregation, and speciation. It has been reported in several New World species such as genus *Saimiri*, *Alouatta*, as well as the Atlantic forest marmosets (genus *Callithrix*). Reports of marmoset hybridization in the wild have been increasing over the last 25 years, especially due to increases in exotic (ie non native marmosets) marmoset populations. Here we report on one such exotic population in Viçosa, Brazil, and report on corporal and facial pelage variation in this introduced group of marmosets. We also described the corporal and facial pelage variation pattern of such individuals, which provided information to access the hybridization case in the region. The study involved 40 marmosets from five groups that belong to genus *Callithrix* (*C. penicillata*, *C. geoffroyi* and their hybrids). They were captured with a multiple-entrance trap, anesthetized, and duly photographed; and their pelages were analyzed. Based on the body patterns, we found a uniform color among the individuals. Nevertheless, the faces' morphotypes showed five different and intermediate configurations. The existence of the hybrid morphotypes and their high reproductive fitness, based on the observation of large number of individuals per group, indicate incomplete reproductive isolation between the

species. Those findings provide subvention to identify hybrid individuals with various degrees of introgression at Viçosa's forest fragments.

Keywords: Hybridization – Introgression – Morphological variability –
Coloration patterns – *Callithrix* – New World monkeys

INTRODUCTION

Hybridization is the interbreeding among individuals from distinct populations that results in the production of some offspring of mixed ancestry (Harrison 1990). Natural hybridization represents an important evolutionary mechanism (Arnold and Meyer 2006) and has been reported in several New World primate taxa (Silva et al. 1992; Peres et al. 1996; Bicca-Marques et al. 2008). It leads to a higher degree of morphological similarity as consequence of a genetic similarity among the populations, what is important for thinking about the past, as in such situations an evolutionary web (rather than a diverging tree) might better represent phylogenetic relationships (Arnold 1992). Ackermann (2006) certifies that relatively few studies have concentrated on the hybrid-primate phenotype.

In marmosets history studies, pelage color is very important in classification process (Herskovitz 1977). Whereas genetic data confirmed that there is hybridization between former pairs of species, hybrid individuals have been identified on the basis of a mosaic pelage color (Cortés-Ortiz et al. 2007; Jesus et al. 2010). Studies about primate coloration have long suspected that social traits are key drivers of the high morphological diversity of primate color faces (Lutz et al. 1998; Bradley and Mundy 2008; Santana et al. 2011). Particularly, in primates, facial cues are used to represent signals about identity (intra and interspecific), behavior, and condition (Pascalis and Bachevalier 1998; Setchell and Wickings 2005; Parr et al. 2006). Facial color patterns can be primarily used to assess the species' identity, while intraspecific variation and polymorphisms in the color and shape of facial features are used for the assessment of individual identity and condition (Santana et al. 2011). This species-specific color pattern is important for species at risk of interbreeding and producing less fit hybrids or for species in which individuals are generally solitary and meet only for mating (Bradley and Mundy 2008).

Sympatry and natural hybridization among the different species of *Callithrix* genera have been reported in the last 25 years, and cases of fertile hybrids in natural environments have been observed mainly in the states of Minas Gerais, Espírito Santo, and Bahia (Alonso et al. 1987; Pereira et al. 1995; Passamani et al. 1997; Aguiar et al. 2007). The city of Viçosa has a population

of ill-defined hybrid marmosets that live in nearby fragmented Atlantic forests (Pereira et al. 1995; Passamani et al. 1997). Viçosa is positioned in a critical region of marmoset distribution, with this being the natural region of *C. aurita*, but very close to the distribution limit of *C. penicillata* and *C. geoffroyi* (Taligaro et al 1994, Marroig et al 2005, Rylands et al 2009). Moreover there are reports of introduced species in the region since the University founding. Whereas *C. aurita* no longer inhabits studied areas in the forest fragments of Viçosa, and individuals have been found with an intermediate coat color, becomes essential to study this supposedly invasive species.

In this paper, we describe the corporal and facial pelage variation patterns of individuals, which provide information to access the hybridization case in the region of Viçosa, in the Atlantic forest.

METHODS

The study involved 40 marmosets of genus *Callithrix* (Erxleben 1777): 19 males (15 adults and 4 juveniles) and 21 females (14 adults and 7 juveniles) from four wild groups. Age classes were defined according to Yamamoto (1993): juvenile animals were considered those between 5 and 10 months old, and adult were 11 months old and above observing dental characteristics and genital growth. Juveniles and adults were analyzed together since the juveniles already have fur similar to that of adults. The study groups are distributed in a 75 ha. Atlantic forest fragment inside the campus of the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, in southeastern Brazil (20°45'14''S e 42°52'54''W). The study area is a fragment of the semideciduous submontane forest. All groups had some human contact level, so they were habituated to human presence. Following the map of Rylands et al (2009), the natural distribution of *C. aurita* passes through Viçosa, and the city is also located. In addition, there are reports that some marmosets were introduced in the region by former residents (unpublished data).

The marmosets were captured with a multiple-entrance trap and anesthetized using ketamine hydrochloride (Vetaset, Fort Dodge, Kansas, USA) at 10 mg/kg body weight with xylazine hydrochloride (Anasedan, Divisão

Vetbrands Saúde Animal, SP, BR) at 0.5 mg/kg body weight immediately after the trapping (Carpenter 2005). While under anesthesia, the individuals were photographed and their pelages were analyzed (methods described below). Marmosets were measured and weighed. Body measurements (body and tail) were taken according to the methods described in Nagorsen and Peterson (1980).

Pelage was analyzed in various parts of the body, across chromatogenetic fields (see Figure 1), which are defined as parts of the pelage that showed a particular color pattern when taken from nearby areas (Herskovitz 1968). These areas are considered by primate taxonomists as relevant characteristics (Herskovitz 1977; Bonvicino et al. 1989; Mittermeier et al. 1992; Gregorin 2006).

Each captured specimen was thoroughly analyzed and assigned to the hair color tone variation on each indicated part by simple visual inspection independently done by two researchers (L. F. F. and I. O. S.). It is known that age influences on the color pattern of individuals, therefore only adults were analyzed. There was a concordance level of 95% between the researchers concerned on the pelage color, extension of color patches, and hue.

After collection of biological data, the marmosets were kept in a warm and darkened room until they recovered from the anesthesia. Four hours after, the animals were released in the same location where they were captured. All protocols and procedures used were reviewed by the Ethic Committee in Animal Use/UFV (number: 89/2011) and SISBIO/ICMBio (number: 28632-1).

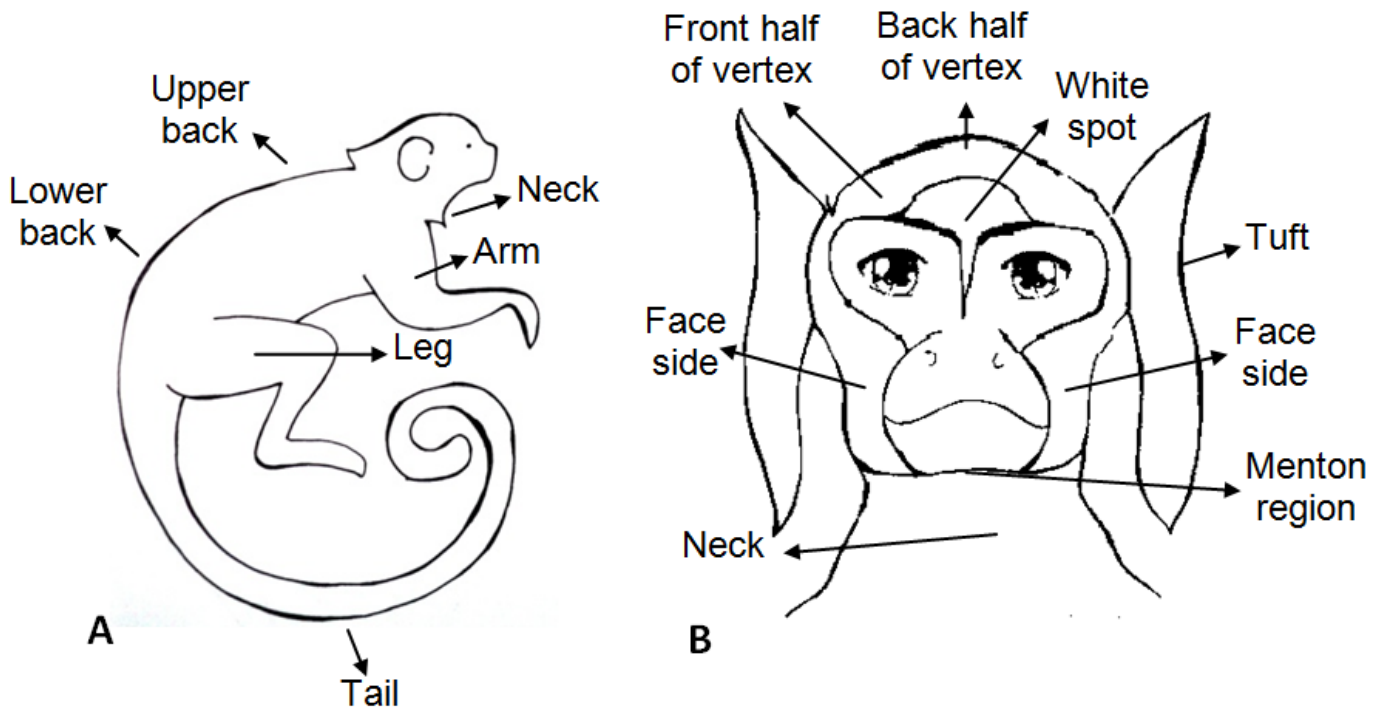


FIGURE 1: Chromatogenetic fields observed in marmosets individuals. Corporal fields are shown in 1A. Facial fields are show in 1B

RESULTS

Composition of hybrid groups

Table 1 shows the composition of each group study. Mean size of the five hybrid groups was 11.4 individuals, with an average of 4.6 females per group (both juvenile and adult), an average of 3.8 males per group (both juvenile and adult) and a mean of 2.8 infants per group. A dominant male and female breeding pair were observed in each group. All analyzed individuals showed a hybrid appearance. These data agree with the expected group sizes for the *Callithrix* genus in accordance to Stevenson and Rylands (1988) (4 to 15 individuals), but more specifically closer to group sizes described for *C. penicillata* (5 to 14 individuals) than for *C. geoffroyi* (3 to 5 individuals) (Passamani & Rylands 2000).

TABLE 1 – Size and Composition of the hybrid groups

Group	Male		Female		Infants	Total
	Juveniles	Adults	Juveniles	Adults		
Belvedere 1	2	5	2	4	4	17
Belvedere 2	2	1	1	3	2	9
Casa 32	0	3	1	4	2	10
Casa 41	0	2	1	3	2	8
Casa 50	1	3	2	3	4	13
Mean	3.8		4.6		2.8	11.4

The average weight of captured *Callithrix* hybrids was 314.73 ± 49.92 g, 213-399 (mean \pm SD and range), and the body measurements for body and tail were 18.47 ± 2.04 cm, 15-24.5 and 30.7 ± 3.56 cm, 17-36.5 (mean \pm SD and range, respectively).

In general, no sexual differences were observed in coat color. It was observed that the patterns inside each group were not uniform, since pelage pattern observed in the group individuals vary in comparison to the dominant female. It is important to note that frequent migrations were observed between the groups, which might justify such variation.

For the corporal pelage pattern, we found a uniform color distribution between individuals. For the upper back and lower back, we observed a striated pattern composed of orange, dark gray, and light gray. For the proximal portion of arms and legs, we found a gray color with orange-colored basal hair, since the distal portion showed a grayish hair. Lastly, the tail for all studied individuals showed a ringed pattern consisting of black, dark gray, and light gray (see Figure 2). These observations matched to those described by Vivo (1991) for *Callithrix geoffroyi* and *Callithrix penicillata*: striated back and ringed tail.



FIGURE 2: Body pattern observed on all captured individuals: upper back and lower back showing a striated pattern colors orange, dark grey and light grey; arms and legs with orange and grey color in proximal portion and grey color in distal portion; ringed tail colors black, dark grey and light grey.

No typical *C. penicillata* or *C. geoffroyi* morphotype was observed, which suggested the groups being of a mixed composition. All studied individuals showed a typical *C. penicillata* and *C. geoffroyi* hybrid morphotype regarding facial color, since all of them have a conspicuous white spot in the forehead (*C. penicillata* characteristic) and different degrees of light gray and white on the sides of the face, menton region and front half of vertex.

The faces of *C. penicillata* and *C. geoffroyi* hybrids morphotypes recorded in the present study showed polymorphism with respect to their color

patterns, such that five different graded patterns of lines, contours, colors, and shapes were identified (as seen in Figures 3: (a) side face and menton region with light color, evident white spot on forehead, front and back half of the vertex grayish, dark gray neck, and black tuft; (b) side face and menton region with light color, evident white spot on forehead, front half of the vertex with light color, back half of the vertex grayish, dark gray neck, and black tuft; (c) side face and menton region with light color, evident white spot on forehead, front half of the vertex with light color, back half of the vertex grayish, black neck, and black tuft; whereas (d) all face with light color with evident white spot on forehead, dark gray neck, and black tuft; (e) all face with light color with evident white spot on forehead, black neck, and black tuft. The pattern (a) is more like *C. penicillata* individuals, whereas patterns (d) and (e) are more like *C. geoffroyi* individuals. Patterns (b) and (c) are those with more intermediate features. Examples of the facial color gradation observed in the individuals of the four groups captured and the general proportion of individuals presenting each morphotype is presented on Figure 3. Intermediate patterns were also found, but were very close to one of the five proposed patterns.

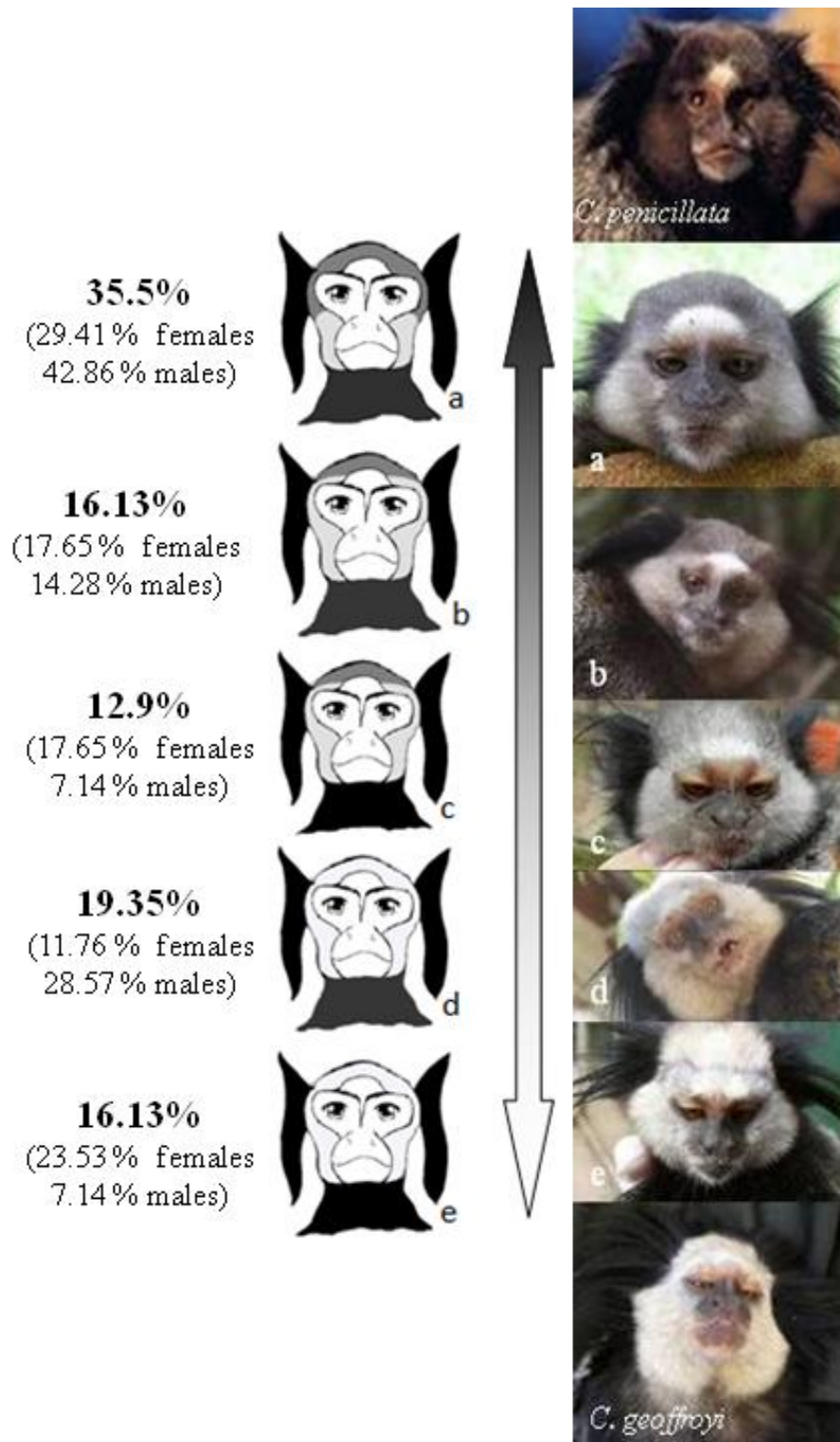


FIGURE 3: Five different face patterns observed on all captured individuals with general proportion of each pattern.

DISCUSSION

Marmosets of *Callithrix* genus are sometimes considered in the literature as full species (Vivo 1991; Coimbra-Filho et al. 1993) and at other times as subspecies (Hershkovitz 1977). In spite of the species concept adopted, there is now a consensus about their specific status (Grooves 2001, 2005; Rylands et al. 1993, 2000, 2009). Therefore, *C. penicillata* and *C. geoffroyi* are both genetically (Peixoto and Pedreira 1982; Nagamachi et al. 1997) and morphologically distinct (Hershkovitz 1977; Vivo 1991; Cavalcanti and Langguth 2008). The *Callithrix penicillata* has long, narrow, and black preauricular tufts, with a median white spot on the forehead and menton region and with a face color that is black or dark brown to light-gray brown. The *Callithrix geoffroyi* has an entirely white forehead, the anterior half of the vertex, and the menton region; has preauricular long black tufts; and has no patch in the forehead (Vivo 1991; Cavalcanti and Langguth 2008). Considering the different patterns of facial colors and auricular tufts as diagnostic factor for each species in the *Callithrix* taxonomy and that the more conspicuous morphologic characteristics that distinguish the *Callithrix* species from each other is that factor (Cavalcanti and Langguth 2008), the results found in this study can reinforce the idea that the Viçosa is a region of hybridization between *Callithrix geoffroyi* and *Callithrix penicillata*. This hybridization started in the region on 80's (personal communication) but the first description of hybrids occurred on 90's.

Vivo (1991) in his publication about *Callithrix* taxonomy proposed an identification key based on morphology and face color pattern to the genus. Individuals under study cannot be identified by this key, once becomes impossible to advancing the final step, which differentiates the diagnostic face morphologic characters of *C. penicillata* and *C. geoffroyi*.

The high level of morphological variability is a well-known phenomenon in hybrid population, and in this study, the animals exhibited intermediate phenotypes and/or a mosaic of parental characters (Ackermann et al. 2006). The existence of hybrid morphotypes between *C. penicillata* and *C. geoffroyi* and the high reproductive fitness of those hybrids (large number of individuals per group and frequent pregnancies breeding healthy offspring) can, therefore, indicate incomplete reproductive isolation between the species. *C. penicillata* is

abundant and the most adaptable specie of marmosets, whereas *C. geoffroyi* is rarer and is under increasing threat due to widespread habitat destruction and its use in the pet trade (Passamani and Rylands 2000).

All these findings suggest that the pelage traits employed in our study were successful in identifying parental and hybrid individuals with varying degrees of introgression. Similar methods have been employed in lemurs (Delmore et al. 2011), baboons (Albets and Altmann 2001), macaques (Bynum 2002), and howler monkeys (Aguiar et al. 2007; Agostini et al. 2008; Jesus et al. 2010). Genetic studies are critically important to confirm the status conferred to individuals at contact zones as hybrids on the basis of coat color and evaluate the incidence of gene introgression in populations of sympatric congeneric species. After that, behavioral and ecological factors are also important for the management of primates in their habitats.

ACKNOWLEDGEMENTS

LF Fuzessy was supported by a grant from CAPES-REUNI.

REFERENCES

Ackermann RR, Rogers J, Cheverud JM (2006) Identifying the morphological signatures of hybridization in primate and human evolution. *J Hum Evol* 51:632-645

Agostini I, Holzman I, Di Bietti MS (2008) Infant hybrids in a newly formed mixed-species group of howler monkeys (*Alouatta guariba clamitans* and *Alouatta caraya*) in northeastern Argentina. *Primates* 49:304-307

Aguiar LM, Mellek DM, Abreu KC, Boscarato TG, Bernardi PB, Miranda JMD, Passos FC (2007) Sympatry between *Alouatta caraya* and *Alouatta clamitans* and the rediscovery of free-ranging potential hybrids in Southern Brazil. *Primates* 48:245–24

Aguiar LM, Pie RP, Passos FC (2007) Wild mixed groups of howler species (*Alouatta caraya* and *Alouatta clamitans*) and new evidence of their hybridization. *Primates* 49:149–152

Albets SC, Altmann J (2001) Immigration and Hybridization Patterns of Yellow and Anubis Baboons In and Around Amboseli, Kenya. *Am J Primatol* 53:139-154

Alonso C, Faria DS, Langguth A, Santee DP (1987) Variação na pelagem na área de integração entre *C. jacchus* e *C. penicillata*. Braz J Biol 47:465-470

Arnold ML, Meyer A (2006) Natural hybridization in primates: One evolutionary mechanism. Zoology 109: 261-276

Arnold, M.L., 1992. Natural hybridization as an evolutionary process. Annu. Rev. Ecol. Syst. 23, 237e261.

Bicca-Marques JC, Prates HM, Aguiar FRC, Jones CB (2008) Survey of *Alouatta caraya*, the black-and-gold howler monkey, and *Alouatta guariba clamitans*, the brown howler monkey, in a contact zone, State of Rio Grande do Sul, Brazil: evidence for hybridization. Primates 49:246–252

Bonvincino CR, Langguth A, Mittermeier RA (1989) A study of pelage and geographic distribution in *Alouatta belzebul* (Primates; Cebidae). Rev Nord Biol 6: 139-148

Bradley B, Mundy N (2008) The primate palette: the evolution of primate coloration. Evol Anthropol 17: 97–111

Bynum N (2002) Morphological Variation within a Macaque Hybrid Zone. Am J Phys Anthropol 118:45–49

Carpenter JW (2005) Exotic animal formulary. Elsevier Saunders, 3rd Ed. Missouri: Elsevier Saunders Inc.

Cavalcanti GC, Langguth A (2008) Recognition of Mate and Speciation in Marmoset Genus *Callithrix* (Primates, Cebidae, Callithriquinae). Rev Nord Biol 19: 59-73

Coimbra-Filho AF, Pissinatti A, Rylands AB (1993) Experimental multiple hybridism among *Callithrix* species from eastern Brazil. In: Rylands AB (ed) Marmosets and tamarins: systematics, ecology, and behaviour. Oxford University Press, Oxford, pp 95–120

Cortés-Ortiz L, Duda TF, Canales-Espinosa D, García-Orduña F, Rodríguez-Luna E, Bermingham E (2007) Hybridization in large-bodied New World Primates. Genetics 176: 2421-2425

Delmore KE, Louis Jr EE, Johnson SE (2011) Morphological Characterization of a Brown Lemur Hybrid Zone (*Eulemur rufifrons* 3 *E. cinereiceps*). Am J Phys Anthropol 145:55–66

Gregorin R (2006) Taxonomia e variação geográfica das espécies do gênero *Alouatta* Lacépède (Primates, Atelidae) no Brasil. Rev Bras Zool 23:64-144

Harrison RG (1990) Hybrid zones: windows on evolutionary process. In: Futuyma D, Antonovics J (eds). Oxford surveys in evolutionary biology. Oxford University Press, Oxford, pp 69–128

Hershkovitz P. (1968) Metachromism on the principle of evolutionary change in mammalian tegumentary colors. *Evolution*, Lancaster 22: 556-575.

Hershkovitz P. (1977) *Living New World Monkeys (Platyrrhini)*. University of Chicago Press, Chicago

Jesus AS, Schunemann HE, Müller J, Silva MA, Bicca-Marques JC (2010) Hybridization between *Alouatta caraya* and *Alouatta guariba clamitans* in captivity. *Primates* 51:227–230

Lutz CK, Lockard JS, Gunderson VM, Grant K (1998) Infant monkey's visual responses to drawings of normal and distorted faces. *Am J Primatol* 44:169-174
Marroig G, Cropp S, Cheverud M (2005) Systematics and Evolution of the Jacchus Group of Marmosets (Platyrrhini). *American Journal of Anthropology* 123: 11-22.

Mittermeier RA, Schwarz M, Ayres JM (1992) A new species of marmoset, genus *Callithrix* Erxleben, 1777 (Callitrichidae, Primates), from the Rio Maués region, state of Amazonas, Central Brazilian Amazonia. *Goeldiana Zool.* 14: 1–17.

Nagamachi CY, Pieczarka JC, Schwarz M, Barros RMS, Mattevi MS (1997) Comparative chromosomal study of five taxa of the genus *Callithrix*, group *jacchus* (Platyrrhini, Primates). *Am J Primatol* 41: 53-60

Nagorsen DW, Peterson RL (1980) *Mammal Collectors Manual*. The Royal Ontario Museum, Toronto

Parr L, Heintz M, Akamagwuna U (2006) Three studies on configural face processing by chimpanzees. *Brain Cogn* 62:30–42

Pascalis O, Bachevalier J (1998) Face recognition in primates: a cross-species study. *Behav Process* 43:87–96

Passamani M, Aguar LMS, Machado, RB, Figueiredo E (1997) Hybridization between *Callithrix geoffroyi* and *Callithrix penicillata* in southeastern Minas Gerais, Brazil. *Neotrop Primates* 5: 9-10

Passamani M, Rylands AB (2000) Feeding Behavior of Geoffroy's Marmoset (*Callithrix geoffroyi*) in an Atlantic Forest Fragment of South-eastern Brazil. *Primates* 41: 27-38

Peixoto LIS, Pedreira MC (1982) Polimorfismo cromossômico em Callitrichidae. *In: Saldanha PH (ed) Genética Comparada de Primatas Brasileiros*. Sociedade Brasileira de Genética, São Paulo, pp133–146

Pereira RF, Gonçalves AM, Melo FR, Feio RN (1995) Primates from the vicinity of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. *Neotrop Primates* 3: 171-173

Peres CA, Patton JL, Da Silva MNF (1996) Riverine barriers and gene flow in Amazonian saddle-back tamarin monkeys. *Folia Primatol* 67:113-124

Rylands AB, Coimbra-Filho AF, Mittermeier RA (1993) Systematics, distributions, and some notes on the conservation status of the Callitrichidae. In:

Rylands AB (ed) *Marmosets and tamarins: systematics, behaviour and ecology*. Oxford University Press, Oxford, pp 11–77

Rylands AB, Coimbra-Filho AF, Mittermeier RA (2009) The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and *Callimico* (*Callimico*) (Callitrichidae, Primates). In: Ford SM, Porter LM, Davis LC (eds) *The smallest anthropoids: The marmoset/callimico radiation*. Springer Press, New York. Cap 2, 25-61p.

Rylands AB, Schneider H, Langguth A, Mittermeier RA, Groves CP, Rodríguez-Luna E (2000) An assessment of the diversity of New World primates. *Neotrop Primates* 8:61–93

Santana SE, Alfaro LJ, Alfaro ME (2011) Adaptive evolution of facial colour patterns in Neotropical primates. *Proc R Soc B*. doi:10.1098/rspb.2011.2326

Setchell JM (2005) Do female mandrills prefer brightly coloured males? *Int J Primatol* 26:715–735

Setchell JM, Wickings EJ (2005) Dominance, status signals and coloration in male mandrills (*Mandrillus sphinx*). *Ethology* 111:25–50

Silva BTF, Sampaio MIC, Schneider H, Schneider MPC, Montoya E, Encarnación F, Salzano FM (1992) Natural hybridization between *Saimiri* Taxa in the Peruvian Amazônia. *Primates* 33:107-113

Vivo, M (1991) Taxonomia de *Callithrix* Erxleben, 1777 (Callitrichidae, Primates). Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte

Yamamoto ME (1993) From Dependence to Sexual Maturity: The Behavioural Ontogeny of Callitrichidae. In: Rylands AB (ed) *Marmosets and Tamarins: Systematics, Ecology and Behaviour*. Oxford University Press, Oxford pp 235-254

ANEXOS

ANEXO I – Tabela de coleta de dados biométricos e morfológicos

Sujeito:					
Local:				Data: ____ / ____ / ____	
Coletores:					
Marcação:					
Sexo: F () M ()		Idade: Filhote () Jovem () Adulto ()			
HORA DE CAPTURA			PESO		
HORA DE ANESTESIA			CAUDA		
ANESTÉSICO			CORPO		
DOSE			PERÍMETRO TORACICO (PT)		
TÉRMINO DA INTERVENÇÃO			PERÍMETRO ABDOMINAL (PA)		
RECUPERAÇÃO			PERIMETRO DO PULSO (PP)	PPD:	PPE:
HORA DE SOLTURA			DIST. INTERCRANIAL FRONTO-OCCIPITAL (DIF)		
ESTADO GERAL			DIST. INTERCRANIAL LATERAL (DIL)		
CICATRIZES E SINAIS			CALCÂNEO-MAIOR GARRA (CG)	CGD:	CGE:
TEMPERATURA TIMPÂNICA (TT)	TTD1:	TTE1:	DISTÂNCIA FEMURAL (F)	FD:	FE:
	TTD2:	TTE2:			
TEMPERATURA RETAL (TR)			BASE-ÁPICE DA ORELHA (O)	OD:	OE:
DENTIÇÃO	() DECÍDUA () DEFINITIVA	() COMPLETA () FRATURA	PULSO-GARRA MAIS LONGA (PGL)		
ESTADO FÍSICO					
MARCAS E CICATRIZES					
OBSERVAÇÕES					

ANEXO 2 – Estatística Descritiva para as três espécies em estudo

ESPÉCIE	VARIÁVEL	P	Ca	Co	DIL	DIF	O		PGL		F		CGL	
							OD	OE	PGLD	PGLE	FD	FE	CGLD	CGLE
Híbrido	N	40	40	40	40	40	40	40	39	39	40	40	39	39
	Mínimo	213,00	29,00	15,00	2,00	5,00	2,00	2,00	3,00	2,90	5,65	5,58	4,96	5,06
	Maximo	399,00	36,00	24,00	3,92	7,50	3,5	3,56	4,16	4,43	8,00	7,46	7,00	6,49
	Média	314,72	30,70	18,47	3,11	6,08	2,54	2,53	3,84	3,81	6,65	6,67	5,90	5,88
	Desvio Padrão	49,93	3,56	2,04	0,24	0,61	0,24	0,25	0,26	0,34	0,39	0,39	0,34	0,31
<i>Callithrix penicillata</i>	N	22	22	22	22	22	22	22	22	22	21	22	21	22
	Mínimo	252,00	27,00	16,50	2,90	5,30	2,10	2,00	3,00	2,90	5,40	5,50	5,10	5,20
	Maximo	433,00	31,00	20,00	3,80	6,80	2,60	2,60	4,50	4,40	6,70	6,60	6,40	6,20
	Média	327,27	28,77	18,13	3,18	5,97	2,34	2,28	3,54	3,51	6,06	6,04	5,65	5,59
	Desvio Padrão	47,12	1,15	0,90	0,19	0,41	0,16	0,16	0,35	0,31	0,39	0,32	0,31	0,24
<i>Callithrix geoffroyi</i>	N	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	Mínimo	265,00	30,00	16,50	3,00	6,00	2,10	2,20	3,30	3,20	6,30	6,10	5,30	5,30
	Maximo	459,00	35,00	20,50	3,80	7,50	2,80	2,70	4,50	4,30	7,20	7,20	6,30	6,40
	Média	390,23	33,12	18,68	3,35	6,71	2,53	2,52	3,81	3,76	6,79	6,79	6,00	6,00
	Desvio Padrão	54,20	1,59	1,27	0,24	0,46	0,16	0,14	0,30	0,27	0,29	0,31	0,30	0,31

Nota: peso em g, medidas morfométricas em cm