UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PSICOLOGIA EXPERIMENTAL

Escolha de Ferramentas na Quebra de cocos por macacos-prego (*Sapajus* spp.): Efeitos
da forma das ferramentas

SÃO PAULO-SP

2014

ANDRÉS DAVID BALLESTEROS ARDILA

Escolha de Ferramentas na Quebra de cocos por macacos-prego (*Sapajus* spp.): Efeitos da forma das ferramentas

(Versão Corrigida)

Dissertação apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Psicologia.

Área de Concentração: Psicologia Experimental

Orientadora: Profa. Dra. Briseida Dôgo de Resende

São Paulo

2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação

Biblioteca Dante Moreira Leite

Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo

Ardila, Andrés David Ballesteros.

Escolha de Ferramentas na Quebra de cocos por macacos-prego (*Sapajus* spp.): Efeitos da forma das ferramentas / Andrés David Ballesteros Ardila; orientadora Briseida Dôgo de Resende. -- São Paulo, 2014.

104 f.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Psicologia. Área de Concentração: Psicologia Experimental) – Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo.

1. Macacos-prego 2. Utilização de ferramentas 3. Cognição 4. Comportamento animal I. Título.

QL737.P925

Dissertação financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo com bolsa de Mestrado concedida a Andrés David Ballesteros Ardila (Processo No. 13/11158-4). A pesquisa foi desenvolvida no Parque Ecológico do Tietê, na cidade de São Paulo no Estado de São Paulo.

Nome: Ballesteros Ardila, Andrés David.

Título: Escolha de Ferramentas na Quebra de cocos por macacos-prego (*Sapajus* spp.):
Efeitos da forma das ferramentas

Dissertação apresentada ao Instituto de Psicologia da
Universidade de São Paulo, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do grau de
Mestre em Psicologia.

Aprovado em: / /

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

A mi hermosa familia.

Agradecimentos

Em primeiro lugar aos meus pais, que sempre me motivaram e, com grande sacrifício, têm me apoiado a seguir o caminho que escolhi. Sem vocês seria impossível qualquer conquista. A dívida será eterna. Amo muito vocês.

Às minhas irmãs e aos meus sobrinhos que apesar da distância têm me acompanhado, atenuando a imensa saudade de casa.

À Marce, pela companhia, apoio, sacrifício, amor, cuidado, cumplicidade e principalmente pela paciência!!! Sei que me aguentar não é fácil, mas você tem sido um anjo. Eu te amo muito.

À Bri, guiando, aconselhando, apoiando e trabalhando muito nos nossos projetos. Agradeço a confiança e a oportunidade concedida para trabalhar sob sua supervisão. Além de ser uma orientadora fantástica, sempre presente, agradeço muito pela amizade, o incentivo para continuar, o apoio em todo momento e situação e pela enorme sensibilidade na frente de eventuais dificuldades. Tentarei corresponder sempre com o maior compromisso possível para manter uma parceria produtiva e, principalmente, para manter e alimentar a amizade.

À Profa. Patricia Izar e seu grupo de pesquisa, por terem me aberto um espaço e permitido fazer uso do Observer para registro das filmagens.

À Carine, que forneceu grande apoio no processo de análise dos dados.

Às professoras Miriam Garcia e Elisabetta Visalberghi, pelas importantes sugestões, críticas e contribuições no exame de qualificação.

À Bruna, por ter me apresentado os macacos-prego da ilha PET, e ao Carlos, por me apresentar os macacos-prego do grupo semi-livre.

Ao pessoal do PET, por ter me permitido desenvolver a pesquisa no seu espaço, mesmo atrapalhando o ritmo normal de trabalho do C.R.A.S.

Agradeço à Ivone e à Kelly, da oficina de réplicas do Instituto de Geociências da USP, por terem fornecido o apoio na manufatura das pedras artificiais e por terem tido imensa paciência comigo, suportando o meu portunhol e as sempre pequenas, mas importantes, exigências no processo.

Aos amigos, também psicólogos ciganos nesta aventura por amor à ciência: Adriana, Arturo, Catalina, Diana, Paulo e William. Nossas conversas, discussões sem fim, comidas e viradas de cervejinha têm constituído uma das melhores terapias em grupo para continuar esta ousadia de ser forasteiro em São Paulo.

Aos amigos de moradia, compartilhar com vocês a odisseia de morar em três metros quadrados sem direito a janela me permitiu fazer umas das melhores descobertas que fiz no Brasil: sua amizade. Em especial Bruna e Nilo, que me acolheram inicialmente e me guiaram na travessia de sobreviver em São Paulo; Eveline, João, Lorena, Renan e Tábita, que fizeram da minha vida uma festa (literalmente) e trouxeram grande alegria em todo momento.

Aos amigos e colegas da etologia: Ana K, Irene, José Gustavo, Lucas, Luiza, Marcelo, Maria Alice, Michele, Noemi e Rachel; sempre dispostos a conversar sobre primatas e muito mais.

À FAPESP, pela bolsa concedida sem a qual a realização deste estudo não teria sido possível.

Resumo

Ballesteros-Ardila, A. D. (2014). Escolha de Ferramentas na Quebra de cocos por macacos-prego: Efeitos da forma das ferramentas. Dissertação de Mestrado, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Existe ampla evidência do nível de seletividade exibido por macacos-prego (*Sapajus* sp) em situações de escolha de ferramentas para a quebra de frutos encapsulados; indicando que as características dos martelos (material, peso e distância de transporte), assim como as características físicas próprias dos indivíduos, afetam a eficiência do na quebra e determinam o processo individual de tomada de decisões no uso de ferramentas. Considerando a predição de que também é provável que a eficiência na quebra seja dependente do controle do macaco sobre a pedra e do ângulo de impacto; o presente trabalho teve como objetivo avaliar experimentalmente se a forma das ferramentas afeta a eficiência na quebra e é levada em consideração pelos macacos-prego, na hora de escolher as ferramentas a serem usadas. Para tal, testamos a escolha de pedras por cinco macacos-prego semilivres usuários de ferramentas - fazendo uso de pedras artificiais e realizando tentativas discretas de escolha com participação livre dos indivíduos - através de um delineamento fatorial de medidas repetidas com oito condições experimentais, correspondentes às possíveis combinações de três variáveis independentes em dois níveis: forma dos martelos (possibilidades de pegada e superfície potencial de contato), peso (leve e pesado) e distância de transporte exigida (perto e longe das bigornas). Avaliamos a seletividade exibida, os comportamentos manipulativos exploratórios e a proficiência natural de quebra de cada sujeito, visando elucidar os fatores determinantes do processo de escolha de ferramentas para a quebra de frutos. Os resultados apontam preferência dos macacos-prego pelos martelos que fornecem maior eficiência, pedras com maior possibilidade de pegada e maior superfície potencial de contato no golpe, aumentando os benefícios e diminuindo os custos do uso. Não encontramos um efeito evidente das variáveis de custo (peso e distância de transporte) sobre a preferência pelas características da forma, nem foi encontrada uma relação entre a preferência exibida em condições experimentais com o engajamento e proficiência natural dos indivíduos na quebra de cocos. Finalmente, verificamos que os macacos-prego baseiam suas escolhas principalmente a partir das dicas visuais, não obstante exibirem comportamentos manipulativos exploratórios que possivelmente permitem ganhar informação adicional sobre as propriedades da forma das ferramentas para realizar a escolha.

Palavras chave: Uso de ferramentas, quebra de cocos, escolha de ferramentas, forma da pedra, macaco-prego.

Abstract

Ballesteros-Ardila, A. D. (2014). Tool selection for nut cracking by capuchin monkeys (*Sapajus* spp.): tool's shape effects. Master Thesis, Institute of Psychology, University of São Paulo, São Paulo.

Evidences point out that capuchin monkeys select stone tools for nut cracking based on the physical characteristics of tools (material, weight, transporting distance) in relation to their own physical characteristics (size, weight), and that selectivity seems to affect the efficiency of nut cracking, determining individual decision making in tool use. Considering the prediction that nut crack efficiency is affected by individual control, the stone and the impact angle; this study aimed to evaluate experimentally if the tool's shape affect nut crack efficiency, and if this is considered in individual tool selection. We tested the choices of five semi-free individuals using artificial designed tools in eight different experimental conditions, manipulating hammers weight, shape and distance to the anvil, to determine the factors involved in tool selection process for nut cracking. The results shows the monkeys prefer hammers that increase cracking nut efficiency, with more holding possibility, and higher potential contact surface in the bites. There was no evidence for effect of variables related with costs (hammer weight and transporting distance) on the shape preference, and there was no relation between preferences in experimental conditions and engage or efficiency in baseline. We found that the capuchin monkeys based their tool choices in visual characteristics and exhibit manipulative exploratory behaviors that allow them to gain information about the tools shape to make choices.

Keywords: tool use, nut-cracking, tool choice, tool shape, capuchin monkeys.

Sumário

Introdução.....	16
Uso de Ferramentas em animais Não-Humanos.....	17
O estudo do uso de ferramentas a compreensão de causalidade: a tradicional dicotomia entre a abordagem representacional e comportamental.....	19
Testando a compreensão de causalidade no uso de ferramentas.....	24
Uma abordagem ecológica ao desenvolvimento do uso de ferramentas.....	32
Função adaptativa da seletividade no uso de ferramentas.....	36
Seletividade no uso de ferramentas num comportamento natural: a quebra de cocos nos macacos-prego.....	38
<i>Escolha das bigornas.....</i>	<i>39</i>
<i>Escolha dos frutos.....</i>	<i>40</i>
<i>Escolha dos martelos.....</i>	<i>40</i>
Problema de pesquisa.....	43
Material e Métodos.....	46
Local e Sujeitos.....	46
Sítios experimentais.....	47
Pedras artificiais.....	48
Delineamento Experimental.....	50
Procedimento.....	51
Coleta, registro e análise de dados.....	52
Resultados.....	56
Resultados condições experimentais.....	56
Posição Escolha.....	57
Escolha por forma.....	59
Mudanças de Escolha.....	63
Escolha por Forma e Proximidade.....	64
Interação forma-peso-distância na escolha.....	65
Eficiência das pedras.....	67

Eficiência e escolha.....	72
Relação entre proficiência e engajamento natural com a preferência e eficiência experimental.....	74
Escolha da pedra e manipulação pré-escolha.....	79
Discussão.....	80
Referências.....	92

Figuras

Figura 1. Um dos sítios experimentais onde foi realizado o experimento.....	47
Figura 2. Exemplo da disposição dos objetos no sitio de quebra.....	48
Figura 3. Modificações da forma das pedras em relação à possibilidade de pegada que pode realizar o macaco.....	49
Figura 4. Modificações da forma das pedras em relação à superfície potencial de contato com o coco no golpe.....	50
Figura 5. Porcentagem média e erro padrão de escolha da pedra “Proxima” e “Não_Proxima” para cada condição analisada.....	58
Figura 6. Porcentagem média e erro padrão de escolha da pedra “Proxima” e “Não_Proxima” para todas as condições incluídas na análise.....	58
Figura 7. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Pegada_Leve_Perto.....	59
Figura 8. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Pegada_Leve_Longe.....	60
Figura 9. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Pegada_Pesada_Perto.....	60
Figura 10. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Pegada_Pesada_Longe.....	61
Figura 11. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Superfície_Pesada_Perto.....	62
Figura 12. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Superfície_Pesada_Longe.....	62
Figura 13. Porcentagem de escolha para cada pedra em cada condição quando a forma manipulada foi a possibilidade de pegada.....	66
Figura 14. Porcentagem de escolha da pedra para cada pedra em cada condição quando a forma manipulada foi superfície potencial de contato com o coco.....	66
Figura 15. Número de cocos quebrados por cada 100 golpes para cada pedra quando a forma manipulada foi a possibilidade de pegada.....	68
Figura 16. Número de ocorrências de fly-off por cada 100 golpes para cada pedra quando a forma manipulada foi a possibilidade de pegada.....	68
Figura 17. Número de cocos quebrados por cada 100 golpes pra cada pedra quando a forma manipulada foi a superfície potencial de contato.....	70
Figura 18. Número de ocorrências de fly-off por cada 100 golpes para cada pedra quando a forma manipulada foi a superfície potencial de contato.....	70

Figura 19. Figura de dispersão para o número de cocos quebrados por 100 golpes e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.....	72
Figura 20. Figura de dispersão para o numero ocorrências de <i>fly-off</i> por 100 golpes e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.....	72
Figura 21. Figura de dispersão para o número de cocos quebrados por 100 golpes e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da superfície potencial de contato com o coco.....	73
Figura 22. Figura de dispersão para o número de ocorrências de fly-off por 100 golpes e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da superfície potencial de contato com o coco.....	74
Figura 23. Figura de dispersão para a taxa de atividade na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.....	75
Figura 24. Figura de dispersão para a taxa de atividade na linha de base e a cada porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da superfície potencial de contato.....	76
Figura 25. Figura de dispersão para a proficiência de quebra na linha de base e a porcentagem de escolha de casa pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.....	77
Figura 26. Figura de dispersão para a taxa de fly-off na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.....	77
Figura 27. Figura de dispersão para a proficiência de quebra na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da Superfície potencial de contato.....	78
Figura 28. Figura de dispersão para a taxa de fly-off na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da Superfície potencial de contato.....	78

Tabelas

Tabela 1. Indivíduos que desenvolveram o comportamento de quebra adequada de cocos.....	46
Tabela 2. Condições experimentais possíveis para um delineamento experimental de medidas repetidas com três fatores: 2x2x2 e distribuição do número de sessões coletadas para cada condição.....	50
Tabela 3. Catálogo comportamental para registro.....	53
Tabela 4. Dados obtidos na linha de base.....	56
Tabela 5. Distribuição das tentativas de escolha para cada indivíduo por condição.....	57
Tabela 6. Distribuição das frequências de mudança de escolha nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.....	63
Tabela 7. Distribuição das frequências de mudança de escolha nas condições de manipulação da superfície potencial de contato.....	63
Tabela 8. Distribuição das frequências de escolha por proximidade para cada tipo de pedra.....	64
Tabela 9. Distribuição das frequências dos episódios de escolha com a manipulação prévia à escolha para cada tipo de pedra.....	79

Introdução

Nesta pesquisa investigamos o papel das características da forma dos martelos sobre a seleção das ferramentas por macacos-prego (*Sapajus spp*) e a possível influência das variáveis de custo da tarefa (peso e distância de transporte dos martelos) sobre a seletividade. Consideramos que os níveis de proficiência e engajamento na quebra cotidiana, exibidos por cada indivíduo, podem ser preditores do nível de seletividade por eles exibido.

A partir das evidências que demonstram que: 1) Macacos-prego são usuários comuns de ferramentas de percussão para quebra de frutos encapsulados (e.g. Fragaszy et al., 2004; Ottoni & Izar, 2008; Ottoni & Mannu, 2001), 2) reconhecem as *affordances* dos objetos em tarefas experimentais envolvendo a forma das ferramentas (e.g. Cummins-Sebree & Fragaszy, 2005; Fujita, Sato & Kuroshima, 2011), 3) exibem uma alta seletividade na escolha dos itens envolvidos na quebra de frutos, em função de diversas propriedades dos itens e das características físicas próprias dos indivíduos (cf. Visaberghi & Addessi, 2013) e 4) considerando a previsão de Liu et al. (2009) de que a forma das pedras pode afetar a eficiência da quebra de frutos, fornecendo maior capacidade de pegada, permitindo levantar a pedra tão alto quanto necessário sem correr o risco de soltar a pedra e ferir-se; então, consideramos que a detecção e relação das potencialidades fornecidas pela forma dos martelos poderia permitir, aos macacos-prego, a otimização do comportamento de uso de ferramentas, de tal modo que, por meio da seleção adequada daquelas ferramentas com as propriedades da forma que forneçam melhor relação custo/benefício para cada indivíduo, sejam aumentados os benefícios e diminuídos os custos do uso da ferramenta.

Assim, a formulação do problema de pesquisa parte da revisão da literatura referente às descobertas do uso de ferramentas em animais não-humanos e a relevância que teve o estudo do uso de ferramentas como estratégia para determinar até que ponto os usuários de ferramentas exibem o que tem sido denominado tradicionalmente na literatura como compreensão de causalidade das propriedades das ferramentas, esboçando a tradicional dicotomia entre a abordagens representacional e comportamental, revisando as evidências que tentaram elucidar a disputa. Em seguida será apresentada a abordagem ecológica do desenvolvimento como alternativa mais adequada. Partimos da Teoria da percepção/ação, que considera que o ambiente é essencial para o desenvolvimento das habilidades envolvidas na seletividade da escolha

de objetos para uso na quebra de cocos, buscamos um vínculo com a Teoria do forrageamento ótimo, para explicar o valor funcional da seletividade. Finalmente, sobre essa base teórica são apresentadas as evidências do nível de seletividade exibido por macacos-prego em função de diversas propriedades dos itens envolvidos na quebra e das características físicas dos indivíduos, como antecedentes empíricos que permitem o posicionamento da nossa proposta de pesquisa.

Uso de Ferramentas em Animais Não-Humanos

O uso e a fabricação de ferramentas foram por algum tempo considerados como uma habilidade de domínio exclusivo dos seres humanos que exige alto nível de complexidade cognitiva, constituindo um aspecto fundamental da nossa identidade como espécie. No entanto, Jane Goodall (1964; 1986) relatou o uso de ferramentas por chimpanzés em Gombe, e atualmente é sabido da existência de várias técnicas de uso de ferramentas amplamente distribuídas em todo o reino animal. Segundo a revisão de Bentley-Condit e Smith (2010), o uso e fabricação de ferramentas são exibidos através de três filós e sete classes do reino animal; e em uma revisão mais recente de Shumaker, Walkup e Beck (2011) reportam quatro filós (Echinodermata, Arthropoda, Mollusca e Chordata) e nove classes (ouriços do mar, insetos, aranhas, caranguejos, caracóis, polvos, peixes, aves e mamíferos) contendo espécies usuárias de ferramentas. Dessa maneira, as pesquisas recentes têm mostrado que o uso de ferramentas não é tão raro entre espécies animais não-humanas como alguma vez se pensou¹. Apesar das semelhanças e sobreposição nas categorias de uso de ferramentas entre espécies, os mecanismos subjacentes ao comportamento podem envolver diferenças filogenéticas, ontogenéticas, ecológicas, fisiológicas, sociais e cognitivas (e.g Biro, Haslam & Rutz, 2013; Hunt, Gray & Taylor, 2013; Kacelnik, Chappell, Weir & Kenward, 2006; McGrew, 2013; Meulman, Seed & Mann, 2013; Sanz & Morgan, 2013; Nahallage e Huffman, 2008; Seed, Emery & Clayton, 2009; Teschke et al., 2013; van Schaik, Deaner & Merrill, 1999).

A tecnologia empregada pelo chimpanzé recebeu inicialmente maior atenção do que aquela utilizada por outros animais, e, por esse motivo, o chimpanzé foi considerado tradicionalmente como a espécie não-humana que exibe o mais completo e

¹ Para uma revisão das definições do uso de ferramentas, consultar Beck (1980); Hansell e Ruxton (2008); Shumaker et al (2011) e St. Amant e Horton (2008).

flexível comportamento de uso de ferramentas (McGrew, 2013). Inicialmente, foram relatadas diversas modalidades do uso de ferramentas nos chimpanzés em vida livre (Boesch & Tomasello, 1998). Uma das categorias melhor descritas do uso de ferramentas de percussão nos primatas não humanos tem sido a quebra de frutos nos chimpanzés selvagens (McGrew, 2004). Os chimpanzés usam como martelo (i.e. percutor) uma pedra ou tronco de madeira numa posição sentada para quebrar frutos que são colocados em uma bigorna, também de pedra ou madeira. O movimento de batida do martelo sobre o fruto pode ser realizado de forma uni-manual, ou menos frequentemente, uma forma bi-manual em função das propriedades dos frutos e os materiais disponíveis para o uso como martelos e bigornas (Boesch & Boesch, 1983). Além de usar ferramentas de pedra para abrir frutos encapsulados, também usam habitualmente varetas fortes para cavar e extrair tubérculos, insetos e mel, e usam folhas para captar água, apresentando variabilidade entre populações no conjunto de ferramentas usadas (McGrew, 2010; Whiten & Boesch, 2001; Whiten et al., 1999, 2001). Adicionalmente, o uso de ferramentas é exibido em uma ampla variedade de contextos além do forrageamento, por exemplo, durante a brincadeira social, com fins de higiene, defesa e comunicação (Boesch & Boesch, 1990). Essa flexibilidade exibida pelos chimpanzés os converteu em modelo referencial das pesquisas sobre a evolução humana e as características do uso de ferramentas dos hominídeos (Tooby & DeVore, 1987).

Contudo, essa posição privilegiada do chimpanzé foi contestada em virtude da ocorrência em outras espécies e *taxa* que também possuem indivíduos que são usuários habituais de ferramentas (McGrew, 2013): vários primatas (orangotangos, macacos-prego e macacos de cauda longa), mamíferos aquáticos (golfinhos e lontras-marinhas) e aves (tentilhões pica pau, corvos da Nova Caledônia e as garças greenbacked) (Biro, Haslam & Rutz, 2013; Meulman, Seed & Mann, 2013).

Deste modo, têm sido reportados eventos de usos de ferramentas por orangotangos (Meulman & van Schaik, 2013; van Schaik et al., 2003), por exemplo, usando água como ferramenta para atingir uma recompensa alimentar do fundo de um tubo (Mendes, Hanus & Call, 2007). De forma similar, gralhas em laboratório adicionam pedras elevando o nível da água até alcançar a recompensa com seus bicos (Bird & Emery, 2009). Tentilhões pica-pau usam galhos ou espinhos de cactos para recuperar insetos e aranhas de buracos de árvores (Tebbich & Teschke, 2013). Um dos

casos mais surpreendentes e que tem gerado amplo interesse de pesquisadores tem sido o uso e fabricação de ferramentas por corvos na Nova Caledônia (*Corvus moneduloides*) (Hunt, 1996, Hunt & Gray, 2002; Rutz & St. Clair, 2012) usando ferramentas feitas com varetas ou folhas para pescar larvas de besouro em troncos de árvore em decomposição no seu contexto ecológico (Bluff, Troscianko, Weir, Kacelnik & Rutz, 2010). Alguns animais aquáticos também exibem comportamentos de uso habitual de ferramentas (Mann & Patterson, 2013), por exemplo, golfinhos carregam esponjas sobre seus rostos enquanto forrageiam no fundo do oceano, talvez com a finalidade de proteger seus rostos sensíveis ao forrageamento em partes abrasivas do fundo do mar (Mann et al., 2008; Sargeant & Mann, 2009). Macacos de cauda longa foram observados usando pedras como machados para processar alimentos resistentes como ostras, gastrópodes, bivalvias e caranguejos (Gumert & Malaivijitnond, 2012; Malaivijitnond et al., 2007). Finalmente, outro exemplo notável de descoberta do uso de ferramentas de percussão em vida livre é o caso dos macacos-prego (*Sapajus*) (Fragaszy et al., 2004; Ottoni & Izar, 2008; Ottoni & Mannu, 2001), como também o uso de varetas para pegar mel e extrair raízes (Mannu & Ottoni, 2009).

O estudo do uso de ferramentas a compreensão de causalidade: a tradicional dicotomia entre a abordagem representacional e comportamental

Diante dessas evidências de uso de ferramentas em alguns animais não-humanos, os cientistas foram cativados pelas habilidades de algumas espécies, que parecem indicar capacidades de planejamento e raciocínio tipicamente atribuídas aos humanos, o que levou a pesquisa na área para a identificação dos mecanismos cognitivos subjacentes relacionados com a flexibilidade e eficiência do uso de ferramentas (Resende & Izar, 2011).

Por exemplo, Seed e Byrne (2010) apontam que é possível encontrar ampla evidência de que o uso e fabricação de ferramentas principalmente de chimpanzés, macacos-prego e os corvos da Nova Caledônia mostram as características principais do comportamento dirigido para uma meta: seletividade, escolhendo ou adaptando o instrumento de acordo com o objetivo específico, e flexibilidade, como a utilização de diversos meios para alcançar o mesmo fim; características que atraíram a atenção dos cientistas visando responder algumas perguntas fundamentais: 1) Será que o animal sabe como funciona a ferramenta? e 2) O animal considera previamente a necessidade

de usar uma ferramenta para atingir um objetivo? Estas questões estão, respectivamente, relacionadas ao nível de compreensão de causalidade envolvido no uso da ferramenta e ao planejamento do uso da ferramenta. Dessa forma, o comportamento de uso de ferramentas tem sido considerado uma janela poderosa para o estudo da cognição animal, além de nos ajudar a determinar que capacidades compartilhamos com eles – e o que poderia ter mudado para permitir os níveis indiscutivelmente únicos de tecnologia apresentados por seres humanos modernos.

Em relação à primeira pergunta, tradicionalmente tem sido considerado que um aspecto importante no uso de ferramentas humano é o conhecimento do tipo de ferramenta necessária para resolver um problema específico. De forma que o uso cotidiano de ferramentas, como usar uma colher ou um martelo, é geralmente determinado pela utilidade da ferramenta em relação a um determinado fim (i.e função), por exemplo, tomar uma sopa e bater um prego respectivamente, para o qual é necessário o reconhecimento das propriedades físicas pertinentes à funcionalidade dos objetos envolvidos e os princípios mecânicos causais básicos conectando essas propriedades. Fujita, Kuroshima e Asai (2003) afirmam que o uso de ferramentas envolve dois aspectos: a técnica de manusear a ferramenta e a cognição causal em vários níveis para entender por que o uso de ferramentas permite alcançar um objetivo inatingível de outra forma, evidenciando o posicionamento tradicional do aspecto da compreensão de causalidade como um dos componentes cognitivos fundamentais para o sucesso do uso de ferramentas (Ruiz & Santos, 2013). Portanto, nas discussões da evolução da cognição, o uso de ferramentas tem sido tratado como um caso especial de manipulação de objetos, por envolver dois aspectos: complexidade cognitiva e significância adaptativa (Tomasello & Call, 1997), partindo da hipótese de que o uso de ferramentas evoluiu em conjunto com um aumento da capacidade cognitiva de compreensão de causalidade física (ver Teschke et al., 2013 para evidências contrárias a esta hipótese) e conduzindo para a afirmação de que apenas os grandes primatas são conhecidos por mostrar compreensão da relação física entre ferramentas e outros objetos no ambiente no uso da ferramenta (e.g. Shaik et al, 1999).

O uso de ferramentas tem constituído um marco ideal para examinar os mecanismos de compreensão causal das interações dinâmicas entre ações e objetos em

relação a metas, num fenômeno que é do tipo “hands-on”². Assim que com o estudo do uso de ferramentas em animais não-humanos alguns pesquisadores pretenderam determinar até que ponto e em que sentidos, os usuários de ferramentas também precisam ser sensíveis, ou envolver-se em raciocínio causal, sobre essas propriedades e princípios. Mas, existe uma grande discussão a partir de várias perspectivas que diferem amplamente na visão do tipo de compreensão de causalidade envolvida, e como é adquirida (cf. McCormack, Hoerl & Butterfill, 2011).

Por uma parte, a perspectiva representacional supõe que o uso de ferramentas envolve raciocínio simbólico sobre as características dos objetos e suas relações, considerando que esse raciocínio não precisa do engajamento do organismo num longo processo evidente de aprendizagem por tentativa-e-erro, para conseguir fazer inferências a respeito da funcionalidade das ferramentas.

Para se aproximar à pergunta sobre a compreensão de causalidade envolvida, esta perspectiva tradicional, vinculada com uma abordagem computacional da cognição, assume que o uso de uma ferramenta requer a extração de informações sensoriais sobre as propriedades do objeto (e.g peso e rigidez), que são traduzidas em saídas motoras apropriadas (e.g levantar e bater), considerando que o uso flexível de ferramentas destaca-se porque parece depender mais de processos cognitivos superiores envolvendo *insight*, entendimento da causalidade física, planejamento e representação mental para atingir um objetivo, sugerindo que a conquista cognitiva subjacente ao uso de ferramentas envolve um avanço cognitivo a nível representacional (e.g. Call, 2013; Dickinson, 2001; Köhler, 1927; Tomasello, 1998; Tomasello & Call, 1997).

Resumidamente, esta perspectiva representacional tradicional entende a cognição envolvida no uso humano de ferramentas como uma capacidade de representar mentalmente e aplicar regras abstratas sobre as interações físicas dos objetos no ambiente para produzir uma solução adequada para problemas específicos através do uso de ferramentas, atribuindo um papel secundário à experiência prévia dos indivíduos. Partindo da afirmação de que o uso humano de ferramentas é marcado por estas

² Assim, na maioria dos casos uma ferramenta tem sido definida como uma extensão do corpo que expande o alcance funcional de um membro, fornecendo apoio para essa ideia, Maravita e Iriki (2004) e Maravita, Spence, Kennett e Driver (2002) demonstraram que em seres humanos e macacos, essa capacidade motora estendida é seguida por alterações em redes neurais específicas que possuem um mapa atualizado da forma do corpo e a postura (i.e esquema corporal).

habilidades cognitivas, os pesquisadores têm tentado determinar qual é o nível de compreensão de causalidade exibido por outras espécies visando determinar o processo evolutivo da “inteligência” ou dos processos cognitivos complexos, sugerindo que alguns primatas e aves têm uma compreensão de alguns princípios causais, sem extensas experiências de aprendizagem em tarefas específicas, revelando o compartilhamento de um “*kit* de ferramentas cognitivas lógico-causais” envolvendo raciocínio causal, flexibilidade, imaginação, prospecção e representação mental, embora não completamente na medida dos humanos (cf. Call, 2007; Emery & Clayton, 2004; Seed & Tomasello, 2010; Visalberghi & Tomasello, 1998).

Em contraposição à perspectiva cognitiva representacional, uma perspectiva comportamental que afirma que os comportamentos complexos, como o uso de ferramentas, são produto de combinações e recombinações de comportamentos mais simples aprendidos por via direta (Delage, 2006, 2011; Delage & Galvão, 2010), enfatizando o papel da experiência prévia dos indivíduos. Esta perspectiva enquadrada dentro da Análise Experimental do Comportamento tem em Robert Epstein um dos autores principais. Esses pesquisadores desenvolvem estudos visando demonstrar o papel que certas histórias ambientais prévias têm na emergência dos comportamentos de resolução de problemas por meio da interconexão de repertórios comportamentais, em contraposição à ideia de raciocínio simbólico (Epstein, 1982).

No estudo principal de Epstein, os autores replicaram com pombos o clássico problema da caixa e a banana ao que foram confrontados os chimpanzés de Köhler (1927)³, assumindo que para resolver o problema os indivíduos devem ter adquirido dois comportamentos: empurrar objetos para alcançar um alvo e subir em objetos para alcançar outros objetos (Epstein, Kirshnit, Lanza & Rubins, 1984). Assim, treinaram quatro pombos para “empurrar direcionado” e simultaneamente os treinaram para subir na caixa e bicar a banana suspensa no ar, extinguindo comportamentos de “força bruta”, como voar em direção da banana. Posteriormente realizaram teste com a banana suspensa fora do alcance do pombo e com a caixa afastada da posição da banana. Os pesquisadores observaram um desempenho similar de três pombos: um período inicial

³ Köhler colocou uma banana, fora do alcance dos chimpanzés em uma esquina de uma sala, e uma pequena caixa de madeira no chão, afastada cerca de 2,5m da posição da banana. Após uma série de tentativas infrutíferas dos chimpanzés por atingir a banana pulando, um deles caminhou por alguns minutos, em seguida, *de repente*, empurrou a caixa perto da posição da banana e pulou atingindo a banana. Solução súbita que é tradicionalmente conhecida como *insight*.

de “confusão”, seguido da súbita resposta de empurrar a caixa em direção da banana e subindo na caixa para bicar a banana. O quarto sujeito resolveu o problema transcorridos 24 minutos da sessão teste. Posteriormente realizaram quatro variações do treinamento com sete pombos distribuídos em quatro condições, em cada uma das condições uma das etapas de treinamento era omitida (por exemplo, numa condição dois pombos não foram treinados para empurrar a caixa). Unicamente na condição em que foram treinados os repertórios de empurrar, subir na caixa e bicar a banana, mas sem extinguir os comportamentos de “força bruta”, o sujeito atingiu sucesso. Nas outras condições sem treinamento explícito de algum dos repertórios, os sujeitos não exibiram a solução súbita, o tradicional *insigh* (ver críticas em Call, 2013; Emery, 2013).

Os resultados do Epstein et al (1984) recebem apoio de estudos similares com ratos (Delage, 2006) e macacos-prego (Delage & Galvão, 2010; Delage, 2011) baseando as explicações dos resultados sobre processos comportamentais não representacionais e responsáveis pela transferência da aprendizagem prévia para novas situações: generalização de estímulos, indução, generalização funcional, irradiação, ressurgência, encadeamento automático, transferência da eficiência e *learning set* (ver Delage, 2011 em detalhe), sugerindo que é a história de aprendizagem dos indivíduos o aspecto fundamental para compreender o fenômeno de resolução de problemas e uso de ferramentas, e principalmente questionando a ideia de que o sucesso no uso de ferramentas envolve algum nível de raciocínio e compreensão abstrato sobre as propriedades físicas da ferramenta e sua função.

A tradicional dicotomia entre processos representacionais e comportamentais é explicitada recentemente por Call (2013) afirmando que existem duas rotas para se tornar um usuário de ferramentas: aprendizagem e raciocínio. Enquanto a primeira rota implica a aprendizagem combinada de experiências contíguas através da seleção por consequências (i.e reforço), a rota do raciocínio implica a aquisição de informação na ausência de reforço e a partir da capacidade de conceber objetos e eventos em diferentes níveis de representação, facilitando a combinação de experiências separadas (ver também Dickinson, 2001). De um extremo da dicotomia, os comportamentalistas argumentaram que o que tem sido denominado como cognição causal pode ser reduzido a processos de transferência de aprendizagem baseadas em contingências seletivas (cf. Epstein, 1996); do outro lado, cognitivistas representacionais afirmam que certamente humanos são capazes de raciocinar sobre as relações causais, por meio de processos de

raciocínio inferencial lógico e representação mental, capacidade que é compartilhada em alguns níveis por espécies animais não-humanas (cf. Call, 2004; Seed & Tomasello, 2010).

De maneira geral, alguns autores têm proposto que para resolver problemas fazendo uso de ferramentas é necessário que o indivíduo tenha certo nível de compreensão causal do efeito do próprio corpo sobre os objetos, assim como das ações de objetos sobre outros objetos (cf. McCormack et al, 2011). Por exemplo, a partir das descobertas em pesquisa sobre os efeitos de danos cerebrais no uso de ferramentas humano, Goldenberg (2011) faz uma distinção fundamental entre o uso de ferramentas que pode ser sustentado por conhecimento manipulativo, baseado em um tipo de memória que especifica rotinas comportamentais sobre como uma ferramenta particular é usada; ou no raciocínio mecânico, envolvendo a solução de problemas em que o usuário descobre como deve ser usada uma ferramenta sob determinadas condições mecânicas. E é aqui onde resultam de vital importância os estudos de uso de ferramentas nos quais os sujeitos são confrontados com uma gama de ferramentas desconhecidas, onde eles devem escolher a ferramenta mais adequada para atingir o objetivo, porque mediante estes estudos é possível determinar se os sujeitos conseguem selecionar a ferramenta correta antes de usá-la. Fornecendo desta forma uma avaliação válida para definir até que ponto o uso de ferramentas exibidas por cada espécie vai além de simplesmente executar rotinas comportamentais que poderiam ter sido aperfeiçoadas através de um processo de tentativa-e-erro. Segundo Goldenberg (2011) poder-se-ia hipotetizar que só nos casos de uso de ferramentas suportado por raciocínio mecânico estaria envolvido um mecanismo genuíno de inferência causal.

Testando a compreensão de causalidade no uso de ferramentas

Provavelmente por causa da percepção historicamente enraizada do uso de ferramentas como uma característica marcante da inteligência humana, as descobertas do uso e fabricação de ferramentas em outras espécies animais não-humanas direcionaram as pesquisas em torno de uma abordagem antropocêntrica em que a pergunta a ser respondida é se as habilidades cognitivas humanas são compartilhadas pelos animais constituindo um *continuum* evolutivo, inspirada fundamentalmente no desejo de compreender a origem da cognição humana e não dos próprios animais. De modo tal que os estudos foram dirigidos para discernir se o comportamento dos

indivíduos é baseado em processos de raciocínio inferencial ou processos comportamentais.

Com esse objetivo, o paradigma principal desses estudos é submeter aos indivíduos a situações problema o mais novas possível, ou seja, tentando controlar a variável da experiência de aprendizagem direta com as ferramentas de teste. Assumindo a seleção sem experiência prévia como um desafio cognitivo através do qual pode ser determinado o nível de compreensão de causalidade de cada indivíduo (Boesch, 2013). De forma que se os indivíduos possuem compreensão abstrata de causalidade sobre como as ferramentas funcionam, seria esperado que os indivíduos selecionassem e usassem as ferramentas eficientes mais do que ineficientes para a obtenção de um objetivo (recompensa) nas primeiras tentativas; em contrapartida, se o comportamento dos indivíduos é determinado por uma história de reforço por tentativa-e-erro (seleção por consequências) seria esperado que os indivíduos não atingissem sucesso nas primeiras tentativas e, talvez, melhorarem o desempenho com o passo das tentativas (Bluff et al, 2007).

Povinelli (2000, *apud* Penn & Povinelli, 2007) reporta uma série de experimentos com chimpanzés no paradigma de recuperação de alimentos com rodinhos, encontrando que indivíduos treinados em recuperar o alimento com esta ferramenta, numa situação de teste não eram capazes de diferenciar entre ferramentas funcionais (com os dentes rígidos) e não funcionais (com os dentes de borracha frágil). Por outra parte, em outra situação em que os indivíduos tinham que escolher entre puxar um rodinho numa superfície contendo uma armadilha onde cairia a comida e outro em que o alimento seria recuperado com sucesso, os chimpanzés não conseguiram exibir seleção adequada da ferramenta na situação de não-armadilha. Finalmente, numa situação de teste em que a posição dos dentes do rodinho era a dimensão funcional, dentes invertidos para cima constituem a ferramenta não funcional impedindo a recuperação do alimento, os chimpanzés não exibiram compreensão de causalidade das propriedades do rodinho para atingir sucesso na recuperação do alimento. A conclusão geral desses experimentos é que os chimpanzés consistentemente não compreendiam os mecanismos causais em jogo.

Estudos em cativeiro com macacos-prego já vinham procurando analisar experimentalmente o uso e modificação de ferramentas, a fim de entender como esses animais manipulam os objetos e compreendem a causalidade física. Podemos citar o uso

de varetas como sondas para extrair mel, o uso de esponjas de papel para beber água (Westergaard & Frigaszy, 1987).

Assim, Visalberghi e Trinca (1989) e Visalberghi e Limongelli (1994) testaram experimentalmente a habilidade dos macacos-prego para recuperar um alimento de um tubo com armadilha no meio tubo, fazendo uso de varetas, a comida foi aleatoriamente colocada num dos extremos do tubo, assim dependendo do lado em que o indivíduo introduzisse a vareta a comida seria recuperada ou perdida na armadilha. Encontrando que apesar do sucesso na tarefa de recuperação do alimento numa condição em que a armadilha era irrelevante (colocada acima do tubo sem impedir a recuperação do alimento) os sujeitos não exibiam compreensão de causalidade o que levou os pesquisadores a afirmar que os macacos-prego não sabem como e por que suas ações causam certos efeitos e, quando bem sucedidos, eles adotam uma estratégia comportamental aprendida por tentativa-e-erro.

Com o mesmo paradigma do tubo-armadilha, Limongelli, Boysen e Visalberghi (1995) testaram cinco chimpanzés. Encontrando que só dois chimpanzés selecionavam o lado correto evitando a armadilha, mas os outros indivíduos não. No entanto, a partir do controle da posição da armadilha (mantendo sempre o alimento no centro do tubo) os autores afirmaram que, ao contrário dos macacos-prego, os chimpanzés compreenderam a natureza causal entre a ação, o uso da ferramenta e o resultado. Porém, numa réplica posterior do experimento de Visalberghi e Limongelli (1994) com sete chimpanzés, Povinelli (2000 apud Penn & Povinelli, 2007) reportou que só um dos sete indivíduos atingiu sucesso acima do acaso e quando testado na condição de armadilha irrelevante o chimpanzé não exibiu compreensão de causalidade. Porém, Seed, Call, Emery e Clayton (2009) realizaram outra pesquisa com o problema tubo-armadilha com chimpanzés, testando a hipótese de que a inclusão da ferramenta (vareta para empurrar o alimento) afeta a capacidade dos chimpanzés em resolver o problema e exibir compreensão de causalidade. Confirmando sua hipótese, os chimpanzés que foram testados sem ferramenta atingiram maior sucesso do que aqueles com ferramentas, e resolveram o problema mesmo quando as dicas visuais foram confundidas ou alteradas, o que implica para os autores que os chimpanzés tinham codificado informações sobre as propriedades funcionais.

Em um estudo comparativo, testando o desempenho de indivíduos de três espécies de primatas: seis macacos-prego, cinco chimpanzés, quatro bonobos e um orangotango, em uma tarefa de recuperação de alimento de um tubo a través de varetas; Visalberghi, Frigaszy e Savage-Rumbaugh (1995) forneceram varetas em diferentes condições: individuais, empacotadas e deformadas. Como resultado, encontraram que todos os sujeitos usaram as varetas individuais com sucesso para recuperar o alimento, mas só os grandes símios desembrulharam o pacote de varetas agrupadas e modificaram as deformadas para atingir sucesso, enquanto macacos-prego tentaram repetidamente inserir o pacote de varetas inteiro ou a vareta deformada. Resultados que levaram os autores a concluir que apesar de todos os indivíduos terem sucesso na resolução da tarefa, só o desempenho dos grandes símios é consistente com uma compreensão das relações causais da tarefa. Quando comparados esses resultados com o desempenho de crianças de três anos de idade, as crianças resolveram com sucesso a tarefa do tubo-armadilha em apenas algumas tentativas (Limongelli, 1995, *apud* Visalberghi & Tomasello, 1998).

Em outro estudo, ao comparar macacos-prego com chimpanzés, numa tarefa de seleção de varetas para recuperação de alimento de um tubo (sem armadilha), sobre a base de características funcionais (comprimento da vareta) e não funcionais, Sabbatini et al (2012) demonstraram que as duas espécies são hábeis para atender às propriedades funcionais das ferramentas, no entanto, os chimpanzés são mais rápidos na aquisição da regra relacional subjacente, neste caso o comprimento da vareta para recuperar a comida. Finalmente, descobriram um resultado surpreendente: ao comparar o desempenho dos macacos e chimpanzés na mesma tarefa, mas sem acesso visual ao comprimento dos tubos, as duas espécies foram igualmente eficientes na recuperação da comida do que quando tinham acesso visual ao comprimento do tubo, o que permitiria supor que o sucesso na escolha é produto da experiência direta do sujeito escolhendo sob a regra “sempre selecionar a mais longa”.

Por outra parte, em contextos de uso de ferramenta natural, a flexibilidade comportamental na quebra de frutos, que permite aos chimpanzés selvagens realizar uma seleção deliberada dos materiais específicos para utilizá-los como ferramentas, foi inferida inicialmente (Boesch & Boesch, 1982) através da comparação das características de martelos e bigornas usados para quebrar frutos de diferente resistência, numa população de chimpanzés. As ferramentas empregadas na quebra do

fruto de alta resistência (*Panda oleosa*) eram de pedra de granito, mais fortes e resistentes do que as empregadas para quebrar o fruto mais leves (*Coula edulis*), que eram de madeira. Portanto, os chimpanzés parecem levar em conta a resistência dos frutos, no uso de ferramentas de percussão. Subsequentes observações diretas confirmaram este padrão de utilização da ferramenta (Boesch & Boesch, 1990), essa seletividade na escolha das ferramentas num contexto de quebra também tem sido amplamente documentada nos chimpanzés (Byrne, 2004), o que permitiu afirmar que eles são capazes de reconhecer as funções dos objetos, e qual pedra ou combinação de ferramentas funciona melhor (Bril, et al, 2009).

Esses resultados inspiraram uma série de estudos realizados com o intuito de determinar se essa seletividade em contextos de quebra natural é baseada unicamente na familiaridade com os materiais das ferramentas ou em um tipo de conhecimento sobre as propriedades das ferramentas e, adicionalmente, questionando o papel da manipulação das ferramentas antes da seleção. No primeiro estudo, Manrique, Gross e Call (2010) investigaram se chimpanzés, bonobos, orangotangos e gorilas selecionavam as ferramentas sobre a base da rigidez em uma tarefa de escolha entre três ferramentas tipo varetas para alcançar uma recompensa alimentar, manipulando as características das ferramentas (cor, diâmetro, material e rigidez). Encontraram que todos os indivíduos escolheram a ferramenta rígida desde o primeiro teste e que os sujeitos selecionaram igualmente bem mesmo quando não podiam manipular a ferramenta antes de escolher. Finalmente, quando mudaram as propriedades da recompensa (mudando de uma recompensa sólida para uma líquida), os indivíduos passaram a selecionar ferramentas flexíveis e não as rígidas, o que permite complementar as descobertas em ambiente natural sobre conhecimento da funcionalidade das propriedades das ferramentas.

No segundo estudo, e inspirados nas mesmas observações de seletividade em contextos naturais de quebra com macacos-prego (Visalberghi et al, 2009a. V. adiante), Manrique, Sabbatini, Call e Visalberghi (2011), com o mesmo paradigma de escolha de varetas em função da rigidez, encontraram que os macacos-prego também exibem uma boa apreciação das relações das ferramentas e as exigências da tarefa, resultado que sugere que a escolha das ferramentas é produto de uma avaliação ativa dos sujeitos das propriedades da ferramenta em relação às exigências da tarefa.

Uma série de estudos posteriores sobre o entendimento causal envolvido no uso de ferramentas nos macacos-prego, fazendo uso de outro paradigma experimental numa tarefa de recuperação de alimento com varetas “tipo cana de pesca” em que os indivíduos depararam-se numa situação de escolha entre duas varetas como ferramentas para recuperar o alimento, uma delas era adequada e outra não, em termos da disposição espacial em relação ao alimento. Inicialmente Fujita, Kuroshima & Asai (2003) encontraram que todos os sujeitos aprenderam recuperar o alimento usando a ferramenta da forma e posição adequada, exibindo uma apreciação espacial entre a ferramenta e a comida. Posteriormente alteraram algumas propriedades relevantes e irrelevantes das varetas (forma, posição, cor, tamanho e textura) e os macacos mostraram que no treinamento tinham aprendido algo mais do que uma resposta específica, eles conseguiram ter sucesso ainda com ferramentas de formas, cores e posições que não tinham experimentado. Porém, os macacos não conseguiram resolver a tarefa quando além de envolver a ferramenta e o alimento, a tarefa exigia a escolha da ferramenta em função de um terceiro objeto, um obstáculo ou armadilha que impedia a recuperação do alimento.

A partir dessa falha no desempenho e compreensão causal em tarefas de três itens (ferramenta, alimento e ambiente), Fujita, Sato & Kuroshima (2011) avaliaram novamente o desempenho dos macacos na tarefa de recuperação do alimento com três itens alterando levemente o procedimento, demonstrando que a falha na pesquisa anterior não foi devida a uma limitação cognitiva dos macacos-prego, mas sim a um requisito da tarefa com três itens. Concluíram nesta segunda pesquisa que os macacos têm uma compreensão rudimentar da causalidade no uso da ferramenta entre os três itens (alimentos, ferramentas e ambiente). Isso é consistente com o comportamento de quebra de cocos relatado por Frigaszy et al (2004) e Moura e Lee (2004), que também envolve uma relação espacial de três itens: um fruto, um martelo e uma bigorna.

Finalmente, Cummins-Sebree e Frigaszy (2005) testaram o desempenho de macacos-prego na tarefa de escolha entre varetas “tipo cana”. Encontrando que os macacos-prego tiveram sucesso na recuperação da comida com as varetas. Recuperando a comida numa condição em que a vareta devia ser reposicionada, inclusive em condições em que a ela tinha sido disposta de um jeito previamente adequado no experimento anterior. A escolha dos macacos-prego não foi sensível às mudanças das propriedades irrelevantes (cor, tamanho, forma ou textura) das varetas. Sugerindo que

eles conseguem distinguir entre propriedades relevantes e irrelevantes das ferramentas e essa distinção está baseada na funcionalidade da ferramenta.

Evidência testando a capacidade de compreensão de causalidade em animais não-humanos não é limitada aos primatas, outra série de experimentos realizados com aves têm sido realizada. Ao avaliar gralhas em um paradigma de tubo com duas armadilhas (Seed, Tebbich, Emery & Clayton, 2006; Tebbich, Seed, Emery & Clayton, 2007) encontraram que os indivíduos aprendem a recuperar o alimento do tubo, mostrando que a capacidade de resolver o problema não é restrita a espécies animais usuárias de ferramentas, porém não obtiveram evidência favorável na resolução da tarefa através da compreensão das propriedades causais quando testadas em situações novas.

Também, trabalhos de laboratório visando determinar se corvos da Nova Caledônia podem escolher ferramentas de dimensões apropriadas para problemas novos foram conduzidos. Assim, Chappell e Kacelnik (2002) demonstraram que corvos (*Corvus moneduloides*) selecionam ferramentas de comprimentos apropriados para recuperar comida localizada em um tubo transparente horizontal. Um dos corvos exibiu um bom desempenho, mesmo quando as ferramentas estavam localizadas longe do tubo. Posteriormente, em uma tarefa similar, Chappell e Kacelnik (2004) testaram a seleção e fabricação de varetas por corvos, mas em esta ocasião a propriedade funcional era a largura das ferramentas. Encontrando que os indivíduos são capazes de selecionar e fabricar ferramentas de largura adequada de acordo com as necessidades da tarefa. Resultados que na perspectiva do Kacelnick (2009) levantam a intrigante possibilidade de que os animais representam as propriedades físicas e as forças envolvidas no uso de ferramentas de um modo abstrato, conceitual: em termos de propriedades dos objetos e as relações entre eles.

Em resumo, encontramos uma ampla série de evidências controversas, embora algumas observações pareçam impressionantes demonstrando seletividade e flexibilidade no uso de ferramentas em tarefas novas, não permitem provar que os indivíduos compreendem a causalidade física envolvida no uso de ferramentas, impedindo excluir explicações baseadas em aprendizagem e processos de transferência da aprendizagem. O que levou alguns pesquisadores argumentar que tanto espécies usuárias quanto não-usuárias de ferramentas são incapazes de compreender a teia de

possibilidades que liga causas e efeitos, não exibindo processos representacionais de inferência causal a diferença dos seres humanos (Bluff et al, 2007; Penn, Holyoak & Povinelli, 2008; Visalberghi & Tomasello, 1998). Assim, em última instância como afirmam Penn e Povinelli (2007), apesar de existirem algumas evidências que podem ser atribuídas a uma capacidade de raciocínio sobre as relações causais, na maioria se não em todos os casos, uma explicação comportamental parece ser suficiente.

No entanto, outros pesquisadores são menos céticos na ausência de evidências claras de conhecimento causal na resolução de tarefas com o uso de ferramentas, alegando que alguns fatores metodológicos podem ter contribuído para mascarar o conhecimento que os indivíduos podem ter sobre a tarefa (e.g Call, 2004; Mulcahy & Call, 2006; Seed et al, 2009; Seed & Tomasello, 2010) argumentando ainda que quando removidos alguns componentes metodológicos (e.g requisitos de uso da ferramenta, restrições da tarefa e estratégias problemáticas de controles) os indivíduos exibem claramente uma compreensão de pelo menos alguns princípios causais abstratos, formando representações mentais das propriedades funcionais sem extensas experiências de aprendizagem em tarefas específicas.

A respeito dessa resistência, dois argumentos de Call (2013) valem a pena ser revisados: de um lado, afirma que a “aprendizagem pode lidar razoavelmente bem com desvios nas dimensões de estímulo, como a cor ou a frequência do som. Por exemplo, pombos treinados a bicar em um disco azul mostram alguma generalização de estímulo aos discos azul-verde. No entanto, em alguns casos, os novos estímulos não compartilham características perceptuais com os familiares, em vez disso compartilham características funcionais. Por exemplo, apesar de que uma abertura em uma plataforma e uma barreira sobre uma plataforma impeçam o deslocamento de um objeto desde o ponto A para o ponto B na superfície da plataforma, eles têm características perceptuais diferentes. É menos claro que a generalização de estímulo, originalmente desenvolvido para lidar com variações dentro de dimensões de estímulos, também seja responsável por classificar o buraco e a barreira como equivalente do ponto de vista funcional” (p. 7). Aqui, Call (2013) não está reconhecendo que uma perspectiva da aprendizagem comportamental como a do Epstein entende que “a generalização é *funcional*, em oposição à generalização baseada em *características físicas comuns*” (Epstein, 1996. p81). Portanto, é justamente a característica funcional de “impedir o deslocamento do objeto sobre a plataforma” a característica definidora que permite a formulação do

processo de generalização funcional. Porém, torna-se relevante questionar o modo em que a generalização permite que dois ou mais estímulos com características estruturais totalmente diferentes (um buraco e uma barreira) terminem constituindo uma classe funcional, problema para o qual uma perspectiva representacional propõe o conceito de representação mental que permitiria ao indivíduo produzir um sistema de classificação, aumentando a capacidade de conectar e unir peças diferentes e separadas de informação (e.g. Dickinson, 2001).

Por outro lado, Call (2013) argumenta que se tudo o que há na resolução de problemas é tentativa e erro, aprendizagem a través de reforço (seleção por consequências), encadeamento automático e/ou ressurgência, ainda tem que ser explicado por que algumas espécies atingem o sucesso na resolução de problemas e outras não. Comparando os experimentos de Köhler (1927) com chimpanzés com os experimentos de Epstein et al (1984) com pombos, Call afirma que apesar do sucesso na resolução súbita tanto de pombos quanto de chimpanzés para a obtenção da banana ao empurrar a caixa (o denominado *insight*), um aspecto fundamental que não é exibido pelos pombos é a *espontaneidade*, ou seja, os pombos não produzem a solução adequada quando um dos componentes não é treinado diretamente (Grupo 2 e 3 do Epstein et al, 1984) (Ver Emery, 2013 para outra crítica à interpretação do insight do Epstein). Aqui o questionamento de Call torna-se fundamental na introdução de um aspecto decisivo do surgimento do uso de ferramentas em ambiente natural: a exploração espontânea que acontece em outros contextos não relacionados ao problema a ser resolvido (e.g brincadeira ou exploração manipulativa de objetos) e que proporciona um tipo de experiência crucial para a posterior resolução de problemas (e.g. Resende, Ottoni & Frigaszy, 2008).

Uma abordagem ecológica ao desenvolvimento do uso de ferramentas

A evidência controversa demonstra que tem havido um foco desproporcionado na busca de mecanismos cognitivos complexos, tradicionalmente atribuídos aos humanos⁴, em espécies não-humanas, como a compreensão causal que pode estar

⁴ Apesar da suposição tradicional de que a capacidade de compreensão de causalidade é certamente possuída por humanos, algumas pesquisas parecem indicar que as limitações na compreensão de causalidade não são apenas encontradas em animais não-humanos. Afirmando que mesmo primatas humanos possuem uma compreensão extraordinariamente limitada das propriedades e forças causais que determinam o funcionamento de uma ferramenta (cf. Emery, 2013; Ruiz & Santos, 2013).

envolvida no uso de ferramentas. Autores vêm questionando a utilidade da dicotomia tradicional entre explicações comportamentais e inferenciais da compreensão causal em animais não-humanos (Boesch, 2013; Chappell, 2006; Tebbich et al, 2013). Sugerindo uma mudança de enfoque dos estudos comparativos da cognição para uma abordagem muito mais centrada no animal e dirigida para uma análise detalhada dos problemas que enfrentam as espécies em seu contexto natural, evitando suposições antropocêntricas e olhando para os fatores ontogenéticos, ecológicos e morfológicos que afetam e determinam o uso de ferramentas (Gibson & Pick, 2000; Lockman, 2000; Resende, 2010).

Sob esta perspectiva ganha força a ideia de que o desenvolvimento, inclusive o manipulativo e a aquisição do uso de ferramentas, ocorre por meio de ciclos que envolvem a percepção do mundo e a ação que se faz nele. Por meio da ação o mundo é percebido, alterado e depois percebido de outra forma distinta (Gibson & Pick, 2000).

A respeito, e questionando a afirmação de Goldenberg (2011) sobre que só nos casos de uso de ferramentas suportado por raciocínio mecânico, estaria envolvido um mecanismo genuíno de inferência causal, Greif e Needham (2011) apontam que não existe só uma única via de progressão entre o desenvolvimento da aprendizagem de rotinas de ação e o raciocínio mecânico, pois essa visão unidirecional não captura a forma na que a aprendizagem de ações específicas das ferramentas, e o entendimento sustentado em raciocínio mecânico interagem na aquisição do uso da ferramenta. Eles retratam a aquisição do uso de ferramentas como envolvendo uma interação entre padrões de ação, o conhecimento sobre como a ferramenta é normalmente usada e o conhecimento conceitual sobre as propriedades dos objetos que poderiam ser usados para raciocinar sobre as ferramentas. Assim, eles argumentam que é através de experiência prática de ação repetida com as ferramentas, que os sujeitos podem realmente gerar dados adequados para a aquisição de tal conhecimento conceitual, tornando-se sensíveis às propriedades físicas particulares que permitem o sucesso no uso de ferramentas⁵.

Perspectivas como a do Greif e Needham (2011) e outras derivadas da proposta de Gibson (1979), como a de Lockman (2000), posicionam a questão do

⁵ Uma proposta teórica similar é oferecida por Osiurak, Jarry e Le Gall (2010), baseada na ideia de que percepção de potencialidades (*affordances*) e raciocínio atuam em conjunto de forma dialética para dar conta do surgimento espontâneo de uso de ferramentas em humanos.

desenvolvimento do uso de ferramentas na cena, e o interessante sobre esta noção é que eles sugerem que o uso de ferramentas está baseado nas habilidades motoras pré-existentes do animal, seguindo assim uma abordagem ecológica do problema em contraposição às visões representacionais (cf. Cummins-Sebree & Frigaszy, 2005). Destacando o importante papel da exploração visual-manual no início do desenvolvimento do conhecimento da ferramenta, vendo-o como um processo iterativo em que o conhecimento é um produto da aprendizagem e da experiência que os sujeitos adquirem ao interagir com objetos e observar outros sujeitos fazendo uso das ferramentas. Assim, o conhecimento sobre ferramentas é um produto das interações dos sujeitos com os objetos, mas não está presente antes destas experiências interativas.

Seguindo especificamente uma perspectiva teórica derivada da abordagem ecológica, Lockman (2000) propôs a teoria da percepção-ação, sugerindo que durante o desenvolvimento o conhecimento perceptual adquirido através da ação suporta o comportamento flexível posterior, e que o repertório de ação típico da espécie limita e dirige o que o sujeito aprende em relação às *affordances* (potencialidades) do mundo (cf. Gibson & Pick, 2000), uma *affordance* é um tipo particular de disposição, aquela cujo complemento é uma propriedade disposicional do organismo⁶ (Turvey, 1992 Apud Osiurak et al, 2010). De forma que Gibson (1979), em favor de um conceito ecológico da realidade, sugere que os indivíduos não percebem as propriedades dos objetos, mas sim suas propriedades em relação a si mesmos, ou seja, o que eles proporcionam/potencializam (*afford*). Portanto, as *affordances* são propriedades auto-referenciais.

A partir desta perspectiva o desenvolvimento do uso de ferramentas é formulado como um problema duplo: 1) A detecção de potencialidades; 2) A relação de potencialidades. A detecção de potencialidades surge a partir das tentativas instrumentais dos indivíduos para relacionar objetos com outros objetos e superfícies sendo, portanto, baseada na informação que é diretamente perceptível. O uso de ferramentas envolve detectar potencialidades não só dos objetos individuais, também

⁶ O termo *affordance* como substantivo foi cunhado por Gibson (1979), explicitamente: "The verb to afford is found in the dictionary, but the noun affordance is not. I have made it up. I mean by it something that refers to the complementarity of the animal and the environment" (p127), adicionalmente: "Affordances are properties taken with reference to the observer. They are neither physical nor phenomenal" (p143).

das relações que possam existir entre os objetos ou partes deles. Então, para fazer uma análise do problema, esta perspectiva sugere que é necessário que haja experiência com os objetos, que trará oportunidades de aprendizagem perceptual referentes às suas propriedades, e o sujeito deve ser capaz de detectar de que maneira os objetos e suas superfícies podem ser alinhados e combinados, gerando o uso de ferramentas (Resende et al., 2008).

Sendo a quebra de frutos uma sequência específica, que não tem sucesso sem ter ocorridos passos precedentes, surge da aprendizagem das relações espaciais durante a manipulação espontânea de objetos que acontece na infância, que permite desenvolver as relações espaciais entre eles e as superfícies (Fragaszy & Cummins-Sebree, 2005). A teoria prevê que as ações diretas com um objeto ou superfície virão antes que as ações que combinam um objeto com uma superfície (Fragaszy, 2007). Conforme previsão, macacos-prego batem espontaneamente diferentes objetos contra diferentes substratos de uma forma lúdica antes de executar a ação, dirigida para algum alvo, de usar um objeto para quebrar um fruto (Resende et al., 2008).

A fim de detectar as potencialidades de um objeto, o indivíduo deve agir sobre ele quando a percepção visual não fornece informações suficientes. Ação física, exploração tátil e *feedback*, são todos importantes para a organização das ações com ferramentas. Assumindo que a cognição envolvida na detecção das potencialidades é uma cognição incorporada que é modelada pelo corpo e as ações corporais (Liu et al., 2011). Portanto, as diferenças individuais na ação e habilidade são prováveis, e, sob a perspectiva ecológica, esta variabilidade é uma rica fonte potencial de informação e não apenas ruído empírico e metodológico.

Indo além das visões tradicionais do uso de ferramentas como um problema cognitivo que exige *insight* e amplamente dependente de uma capacidade de processamento ou raciocínio causal. A implicação chave desta perspectiva é que o uso de ferramentas não é uma conquista do desenvolvimento descontínuo que requer um novo nível de pensamento representativo, como é considerado tradicionalmente na literatura (Lockman, 2000). Essa ênfase no desenvolvimento e nos fatores ecológicos e morfológicos dos indivíduos é certamente inspirada em mudanças de perspectiva recentes no seio da psicologia cognitiva e da cognição comparada (e.g. Shettleworth, 2010; Barrett, 2011, de Waal & Ferrari, 2010).

Alguns representantes da perspectiva tradicional representacional, mesmo sem abandonar algumas suposições tradicionais (e.g. a representação mental), têm incorporado o conceitos de ciclos de percepção-ação e a importância fundamental do desenvolvimento num contexto ecológico. Por exemplo, Call (2013) sugere que é possível reconhecer três ingredientes necessários para se tornar um usuário de ferramentas: 1) A busca e acumulação de informações, considerando que a aprendizagem baseada em reforço pode ser uma fonte importante de conhecimento, reconhecendo que a informação também pode ser adquirida na ausência de reforço; 2) Recombinação ou reestruturação da informação; e, 3) Propensão para manipulação de objetos. Por outro lado, Seed e Boogert (2013) realizaram uma revisão de algumas evidências que permitem apoiar uma mudança da abordagem tradicional do *insight* suportando-o no feedback perceptivo-motor. Inspirados no experimento de Taylor, Knaebe e Gray (2012), em que testaram corvos e humanos numa tarefa de escolher uma corda conectada ou não à recompensa para recuperar uma recompensa (dinheiro e carne respectivamente), salientam que cada passo na solução traz a recompensa visivelmente mais próxima, e esta aproximação pode ser gratificante em si, de forma que a solução de puxar a corda pode ser resolvida a partir de um circuito de feedback perceptivo-motor mediado por condicionamento operante e não em processos de simulação mental ou planejamento. Como afirmam Osiurak et al (2010) tendo demonstrado que os animais não compreendem as propriedades não observáveis dos objetos, uma explicação plausível é que o comportamento de uso de ferramentas de animais não-humanos pode ser suportado pela percepção de *affordances*, associada com um processo de tentativa-e-erro⁷.

Função adaptativa da seletividade no uso de ferramentas

Cada animal se depara com desafios próprios do seu nicho ecológico específico, alguns desses desafios podem ser resolvidos de forma mais eficiente com a ajuda de ferramentas. De forma que é importante entender a seletividade e flexibilidade no uso de ferramentas dentro de uma estrutura de otimização do comportamento. A teoria do forrageamento ótimo (Stephens & Krebs, 1986) prevê que os indivíduos compensem os

⁷ Osiurak et al (2010) afirmam que nos seres humanos, esta hipótese não pode ser apoiada, por tanto fornecem uma proposta teórica baseada na ideia de que a percepção de potencialidades (*affordances*) e raciocínio atuam em conjunto de forma dialética para dar conta do surgimento espontâneo de uso de ferramentas em humanos.

custos necessários para explorar as opções alternativas e seus benefícios em termos da eficiência no forrageamento. E a abordagem da percepção-ação nos permite examinar os processos que contribuem para a seletividade no comportamento dos animais, incluindo a seleção de objetos para um alvo específico, que permitam obter o maior ganho possível do seu comportamento. Independentemente do uso de ferramentas seja ou não suportado por algum tipo de cognição avançada, do ponto de vista de custo-benefício é esperada a obtenção de vantagens adaptativas se os animais são capazes de selecionar objetos apropriados como ferramentas, modificar objetos de forma a melhorar a sua eficiência, e usar esses objetos na forma adequada, em função dos alvos adequados (Biro et al., 2013).

Uma vez que uma boa nutrição é essencial para a sobrevivência e sucesso reprodutivo de um animal, a seleção natural tende a favorecer comportamentos que aumentem a eficiência alimentar (Stephens & Krebs, 1986). Cada comportamento de forrageamento é um compromisso entre o benefício nutricional e o custo de obtenção do alimento e, assim, a seleção natural deve favorecer aqueles comportamentos que reduzem ao mínimo os custos e maximizam os benefícios (Campbell, & Reece, 2005). Este enquadramento teórico nos permite entender por que os indivíduos, através da experiência, adquirem o conhecimento das potencialidades dos objetos e as relacionam entre si. O mecanismo de aprendizado perceptual oferece uma vantagem evolutiva: maior eficiência na manipulação dos objetos dirigidos para um alvo e, portanto, obtenção de maior benefício ao menor custo.

Por exemplo, a quebra de frutos como prática rotineira dos macacos-prego é um exemplo notável de um comportamento plástico, em que os custos e benefícios variam enormemente entre os indivíduos e a eficiência requer anos para ser atingida (Resende et al., 2008). Portanto, esse comportamento levanta muitas perguntas interessantes respeito dos custos e benefícios do uso de ferramentas no forrageamento em animais não humanos (Fragaszy et al., 2010a).

O benefício da quebra de frutos encapsulados tem sido focado para ser uma fonte de recursos especial para os macacos durante os períodos de escassez de alimentos. Em contraste, pouca atenção tem sido dedicada aos custos do uso de ferramentas. A quebra de frutos é uma atividade de forrageamento custosa em termos de tempo, energia, despesas e riscos. Fragaszy et al. (2010a) assumem o golpe como unidade básica de atividade que pode ser afetada pelo custo dos eventos de uso de

ferramentas, e assumem que os fatores que afetam o número de golpes necessário para quebrar um fruto afetam os custos da atividade a curto prazo, mostrando que macacos-prego do mesmo grupo, sob as mesmas condições ambientais, variam na sua eficiência ao longo de um intervalo entre 1 e 15 frutos abertos por cada 100 golpes. Assim, este comportamento proporciona uma oportunidade para avaliar os custos e benefícios da utilização de uma ferramenta no forrageamento através de uma larga escala de variação individual. As características do fruto, da bigorna, do martelo e do macaco-prego afetam a eficiência na quebra de cocos. Portanto, determinar se um alimento potencial é rentável, se pode ser obtido com uma ferramenta antes de tentar batê-lo e selecionar uma ferramenta adequada antes do uso, seria maximizar os benefícios da ferramenta (Fragaszy et al., 2010b). Assim, Liu, Simpson, Izar, Ottoni, Visalberghi & Fragaszy (2009) examinaram minuciosamente a cinemática e os aspectos energéticos do comportamento de quebra do coco *Attalea sp* nos macacos-prego (*Sapajus libidinosus*) do grupo livre da Fazenda Boa Vista, PI, e verificaram que eles exibem estratégias relacionadas, por exemplo, ao peso das pedras, a dureza dos frutos e sua capacidade corporal, que maximizam as vantagens mecânicas e minimizam o risco de ferimentos.

Seletividade no uso de ferramentas num comportamento natural: a quebra de cocos nos macacos-prego

Alguns dos trabalhos experimentais acima citados (Chappell & Kacelnick, 2002,2004; Manrique et al, 2010, 2011; Sabbatini et al, 2012) demonstraram que indivíduos de várias espécies são capazes de selecionar de forma confiável entre as ferramentas que podem e não podem ser utilizados para obter a comida, reconhecendo as *affordances* físicas dos objetos para serem uma boa ferramenta. Outros trabalhos relataram essa capacidade em animais usuários de ferramentas em vida livre.

A flexibilidade comportamental na quebra de frutos, que permite aos chimpanzés selvagens realizar uma seleção deliberada dos materiais específicos para utilizá-los como ferramentas, foi inferida através da comparação das características de martelos e bigornas usados para quebrar frutos de diferente resistência. Boesch e Boesch (1982) inferiram, numa população de chimpanzés, desta forma que as ferramentas empregadas na quebra do fruto de alta resistência (*Panda oleosa*) eram de pedra de granito, mais fortes e resistentes do que as empregadas para quebrar o fruto mais leves (*Coula edulis*) que eram de madeira. O que levou os pesquisadores a pensar que os chimpanzés levam em conta a resistência dos frutos, no uso de ferramentas de

percussão. Subsequentes observações diretas (Boesch & Boesch, 1990) e experimentais (Schrauf, Call, Fuwa & Hirata, 2012) confirmaram este padrão de utilização da ferramenta, essa seletividade na escolha das ferramentas num contexto de quebra tem sido amplamente documentada nos chimpanzés (Byrne, 2004), o que permitiu afirmar que eles são capazes de reconhecer as funções dos objetos, e qual pedra ou combinação de ferramentas funciona melhor (Bril et al, 2009). Adicionalmente, também em chimpanzés, Sanz, Schöning e Morgan (2010) relataram o uso de dois conjuntos de ferramentas diferentes na forma e função para preda formigas, um para perfurar o formigueiro e outro para coletar as formigas, sendo estes conjuntos também diferentes de outras ferramentas empregadas para preda cupins ou extrair mel.

Evidências similares são encontradas em outras espécies, Gumert e Malaivijitnond (2013) conduziram um estudo observacional para determinar se os macacos de cauda longa selecionam ferramentas de pedra de acordo com o tipo de alimento a ser processado, fornecendo conjuntos de pedras com diferentes pesos, encontraram que os macacos selecionaram as pedras para serem usadas em função do tipo de alimentos a serem processados. Por outro lado, St. Clair e Rutz (2013) conduziram um estudo experimental com corvos da nova Caledônia usuários de varetas no ambiente natural para forrageamento extrativo, encontrando que os corvos prestam atenção às características funcionais das ferramentas.

Para tentar compreender como os macacos-prego determinam as propriedades relevantes dos objetos, orientam a seleção para usá-los como uma ferramenta e como eles são sensíveis às propriedades particulares, tem havido um acúmulo de pesquisas visando aprofundar a compreensão das dimensões relevantes dos frutos e ferramentas envolvidos na seleção feita pelos macacos (cf. Visaberghi & Addessi, 2013 para uma revisão abrangente). Explicitamente, as potencialidades do fruto podem-se centrar na facilidade para ser quebrado e a quantidade de benefício alimentar que constitui ao ser quebrado; as potencialidades do martelo baseiam-se na aptidão para golpear e quebrar o fruto, permitindo testar quais das suas propriedades fornecem essa aptidão; e as potencialidades da bigorna estão baseadas na sua qualidade como uma plataforma para posicionar o coco e resistir ao golpe do martelo.

Escolha das bigornas

Uma bigorna adequada deve (1) fornecer alta força reativa (isto é, transmitir a força do impacto para o fruto) de modo que o fruto quebre em menos golpes do que em

uma bigorna com baixa força reativa, (2) manter o fruto no lugar depois do golpe e (3) fornecer uma fácil acessibilidade para os macacos e boa estabilidade (Liu et. al, 2011).

Assim, os macacos-prego desenvolvem com a experiência a seletividade por bigornas em função da dureza do seu material (Fujita et al., 2007; Pouydebat, Gorce, Bels & Coppens, 2006) preferindo substratos adequados (concreto, pedra, troncos de madeira e metal) mais do que substratos inadequados (galhos pequenos de madeira, plástico, cordas e solo de grama). Além disso, a possibilidade de posicionar os cocos e que esse posicionamento permita o sucesso do golpe (formas na bigorna), é levada em conta pelos macacos (Lui et al., 2011), preferindo mais os buracos mais eficientes (grandes e superficiais) do que os menos eficientes (pequenos e profundos).

Escolha dos frutos

Algumas pesquisas dão respaldo empírico às observações feitas por Visalberghi et al. (2008) segundo as quais o grau de dureza dos frutos a serem quebrados está fortemente relacionado com a eficiência da ferramenta, sugerindo então que cocos maiores são mais resistentes e, portanto, precisam de mais golpes para ser quebrados.

O peso dos frutos está relacionado com o tamanho, os objetos de maior dimensão são muitas vezes mais pesados do que os menores. Assim, o peso pode ser determinado por características externas de um objeto como a aparência e tamanho, ou seja, por uma informação exteroceptiva, ou pode ser avaliada pela elevação do objeto (informação proprioceptiva), isto é, pela informação derivada da ação do indivíduo feita no objeto (Gibson, 1979). Nessa direção, Visalberghi & Néel (2003) demonstraram que os macacos conseguem distinguir os frutos cheios dos vazios baseados no peso: quando os pesquisadores ofereceram frutos vazios e cheios que diferiam entre 2,1 e 3 gramas, os macacos foram capazes de selecionar os mais pesados e cheios levantando-os.

Como foi predito por Frigaszy et al. (2010a), os macacos que procuram reduzir os custos da quebra devem selecionar frutos menores. Deste modo, Fragaszy et al. (2010b) encontraram que os macacos exibem preferência pelos frutos mais frágeis e fáceis de quebrar.

Escolha dos martelos

Da mesma forma que no caso dos chimpanzés, a seletividade em relação às características dos martelos foi inicialmente inferida através da descrição das características das ferramentas encontradas nos sítios de quebra. Visalberghi et al (2007) encontraram que pedras duras e grandes, o suficiente para servir como martelos são mais abundantes na proximidade das bigornas do que na área circundante. Além disso,

as pedras encontradas nas bigornas apresentaram variação considerável em características funcionais (peso e friabilidade) se comparadas às pedras menos próximas da bigorna (Visalberghi et al., 2007). De forma similar, Ferreira, Almeida & Jerusalinsky (2010) encontraram que o peso dos martelos usados pelos macacos-prego na natureza difere de acordo com o tamanho do fruto. Observações de campo que sugeriram que macacos-prego livres levam em conta as propriedades físicas dos martelos e a resistência dos frutos a serem quebrados antes do transporte e uso das ferramentas. Da mesma forma, Spagnoletti et al. (2011) demonstraram que a eficiência na quebra de cocos varia de acordo com a resistência do fruto e que os macacos exibem uso diferencial de pedras mais pesadas para quebrar cocos altamente resistentes em relação a outros alimentos encapsulados ou cocos frágeis. De forma que na frente do custo da tarefa (e.g. carregar uma pedra inadequada ou ineficiente) a seletividade na escolha das ferramentas resulta ser fundamental (Visalberghi et al., 2009b).

Assim, evidências tanto em cativeiro, semi-liberdade e vida livre, demonstraram a seletividade dos martelos em função das características funcionais. Os martelos preferidos pelos macacos-prego são aqueles que fornecem maior eficiência na quebra quanto ao material (Antinucci & Visalberghi, 1986), na relação peso/tamanho-transporte (Falótico, 2006), o peso por si só, independentemente do tamanho do martelo (Schrauf, Huber & Visalberghi, 2008), inclusive quando a relação entre o peso das pedras é quase imperceptível (1,35:1) (Fragaszy et al., 2010a). A seletividade é tão aguçada que os macacos-prego selvagens escolhem a ferramenta funcional mesmo quando não pode ser avaliada pela visão, gerando comportamentos exploratórios (como bater com as pontas dos dedos) para reconhecer as ferramentas com as características adequadas (Visalberghi et al., 2009b).

A seletividade dos macacos-prego na escolha dos martelos está baseada na relação das potencialidades de várias dimensões da ferramenta. Mas essa seletividade está diretamente relacionada às capacidades físicas do indivíduo.

Assim, Oliveira (2012) analisou a seletividade dos martelos em relação aos custos e benefícios levando em conta o peso, o transporte e a dureza dos cocos oferecidos. Animais menores e mais fracos (normalmente juvenis e fêmeas) compensam preferindo martelos mais pesados do que os escolhidos pelos adultos. Depois do peso, o custo do transporte da ferramenta é a variável de maior importância. Com a ideia de formalizar o processo seletivo dos macacos, Massaro, Liu, Visalberghi e Frigaszy (2012) desenvolveram um índice de preferência não-dimensional definida como uma

função da massa da pedra e a distância de transporte, para descrever a escolha do macaco. Assim, realizaram três experimentos e encontraram que, na condição em que foi manipulada somente a distância de transporte, os macacos preferiram consistentemente a pedra mais próxima da bigorna, reduzindo os custos de transporte. E, que os macacos dividiram-se em dois grupos: três macacos escolheram a ferramenta sobre a base do peso, e quatro sobre a base da distância de transporte. Sendo os sujeitos do primeiro grupo os mais pesados, e os do segundo grupo os menos pesados ou com deficiências físicas que aumentam os custos de transporte. Em geral, os resultados indicam que (1) os indivíduos variaram em sua sensibilidade à distância de transporte, (2) no transporte, poucos metros são considerados como um custo substancial por alguns macacos, e (3) a massa corporal dos macacos afeta suas decisões.

A evidência permite afirmar que macacos-prego são altamente seletivos em relação às propriedades dos itens envolvidos na quebra de cocos que podem afetar a eficiência do seu comportamento, reconhecendo as *affordances* dos objetos para serem uma boa ferramenta quando as propriedades relevantes são observáveis (e.g mudança tamanho/peso), mas também quando as dicas visuais não são suficientes ou mesmo contrárias. Assim, Visalberghi et al (2009b) e Frigaszy et al (2010b) mostraram que, em uma circunstância em que não poderiam julgar a massa das pedras por sinais visuais, pois as pedras tinham o mesmo volume e aparência, mas peso diferente, os macacos-prego manipularam e tocaram as pedras quando tinham que escolher entre duas, e deste modo escolhiam a mais eficiente. Mas essa exploração não é sempre tocando diretamente os objetos: Liu et al (2011) estudaram o posicionamento sistemáticos de cocos em concavidades formadas nas bigornas ao longo de seu uso como apoio durante as quebras. Verificaram que, ao fazer o reposicionamento, os macacos-prego obtinham uma informação tátil importante para avaliar a eficiência da concavidade e adequação da posição do coco antes de desferir o golpe. Resultados como estes ilustram que o limite do sistema animal-ambiente (o que constitui o animal e o que constitui o meio ambiente) muda dinamicamente, ou seja, quando o fruto ou a pedra torna-se o veículo através do qual os animais perceberão as potencialidades, tendo como resultado uma concepção de animal e ambiente incorporados num processo exploratório contínuo produto das ações próprias do indivíduo, sendo os macacos sensíveis às consequências das ações do corpo que produz força para mover um objeto (Fragaszy et al., 2010b).

Problema de pesquisa

As pesquisas sobre a detecção e relação das potencialidades dos martelos, e seu valor na preferência e escolha dos macacos para serem usados na quebra, têm sido dirigidas principalmente às dimensões do peso, tamanho e dureza do material das pedras como características funcionais delas como potenciais martelos, e a relação com os custos de transporte e as capacidades físicas do indivíduo. No entanto, é possível considerar que outras dimensões das pedras, que afetem o sucesso e eficiência na quebra, podem ter um papel relevante na escolha dos martelos feita pelos macacos-prego, embora pudessem não ter o mesmo valor num modelo matemático como o proposto por Massaro et. al (2012). Contudo, pesquisar a capacidade dos macacos de detectar potencialidades dos martelos em relação de outras dimensões deles permitiria esboçar com maior precisão a relação entre as variáveis próprias do martelo, a distância de transporte e as capacidades próprias do sujeito, que determinam a tomada de decisões no uso de ferramentas.

Estudos com macacos-prego que implicam a detecção de potencialidades relacionadas com a forma no uso de ferramentas, quando esta é a responsável pela funcionalidade dos objetos, têm sido realizados (e.g. Cummins-Sebree & Frigaszy, 2005; Fujita et al., 2003; Fujita et al., 2011; Manrique et al., 2011; Sabbatini et al., 2012): o paradigma usado para avaliar essa capacidade de detectar as potencialidades da forma das ferramenta é a recuperação de alimento mediante o uso de varetas e varetas “tipo-cana”. Os macacos conseguem detectar as potencialidades dos objetos e recuperar o alimento ainda quando a forma é correta, mas a posição não, pois a modificam para ter sucesso nas tarefas, ignorando características não relevantes das ferramentas, como a cor ou a textura. No entanto, esse paradigma empregado não está inserido num comportamento natural de uso de ferramentas como é a quebra de frutos encapsulados⁸.

Levando em conta a predição de Liu et al. (2009) de que também é provável que a eficiência da quebra seja dependente do controle do macaco, da pedra e do ângulo de seu impacto sobre o fruto. Predição que testamos mediante manipulações experimentais, procurando determinar se realmente a possibilidade de controle que oferece a forma da pedra e a possibilidade de impacto sobre o coco têm efeito sobre a eficiência na quebra

⁸ Essas evidências experimentais poderiam suportar uma previsão de seletividade dos macacos-prego em função da forma das ferramentas em comportamentos de uso de varetas como sondas para extração de alimentos, como o relatado por Mannu e Ottoni (2009) e Falótico (2011) no Parque Nacional Serra da Capivara.

e, adicionalmente, se os macacos ajustam sua preferência detectando as potencialidades de cada forma para obter o maior benefício pelo menor custo.

Assim, recentemente, Borgo, Spagnoletti, Vieu e Visalberghi (2013), demonstraram que os macacos-prego no contexto de quebra de frutos, podem levar em conta características relevantes como a facilidade para lidar com a pedra (relacionado à forma do martelo, preferindo sistematicamente pedras lisas, mais do que pedras irregulares) ignorando características irrelevantes como a cor. Levando estes experimentos em consideração, nosso principal desafio é determinar se dois aspectos da forma dos martelos têm efeito na eficiência da quebra e afetam a preferência dos macacos:

1) As possibilidades de pegada que permitam que o macaco levante a pedra até uma altura suficiente e permita exercer a força descendente adequada no golpe. Uma pedra que forneça uma pegada inadequada poderia aumentar o risco de ferimentos no golpe (como encontrado por Borgo et al, 2013).

2) A forma das pedras também poder-se-ia relacionar com a quantidade de superfície de contato existente para golpear o coco (característica da forma não controlada nem testada no experimento de Borgo et al, 2013): uma superfície de contato maior poderia aumentar a eficiência da pedra, pois aumenta a probabilidade de contato entre a pedra e o coco no golpe; uma pedra com menor superfície de contato exigiria do macaco maior precisão no golpe ou forneceria maior risco de falha. O que, por definição, implicaria em um maior custo na quebra.

Ao mesmo tempo, nosso intuito é testar a possível interação entre a detecção das potencialidades da forma dos martelos, com os custos de distância de transporte e peso. Assim, se não existir uma preferência marcante na condição de manipulação exclusiva da forma, esperamos que com o aumento dos custos da tarefa seja evidente a importância dessa detecção das potencialidades oferecidas pelas formas e sua eficiência na quebra.

Pensamos que nossos resultados possam gerar a possibilidade de posteriores pesquisas sobre a relevância ecológica desta detecção das potencialidades da forma das ferramentas em um ambiente de quebra em grupos livres que exibam esse comportamento, tal qual tem sido feito na avaliação de outras características dos itens envolvidos na quebra de frutos encapsulados por macacos-prego. No entanto, nós sabemos que na natureza é difícil considerar que há pedras que possam ser categorizadas, por exemplo, como “redondas ou planas” totalmente. De fato, não é

possível definir uma categoria de “formas de martelos adequados na natureza”, pois há evidência de um amplo leque de formas que vão desde as formas ovais dos seixos de rio até as formas cilíndricas de troncos de madeira. Como encontrado por Visalberghi et al. (2007), o peso e dureza suficiente parecem ser os requerimentos importantes para a seleção de ferramentas de pedra, mas uma forma específica não, já que as pedras empregadas por macacos-prego variam amplamente em angularidade e esfericidade.

Portanto, nossa proposta é uma avaliação experimental, com manipulações artificiais das características dos martelos para determinar o papel da propriedade da forma das ferramentas fornecidas aos macacos na eficiência e seletividade exibida pelos macacos-prego na quebra de cocos, e a interação outras variáveis de custo como o peso e a distância. Nossa predição é que se na história do desenvolvimento do uso de ferramentas, a detecção das potencialidades da forma das ferramentas constitui um papel importante na escolha das ferramentas, numa situação controlada onde a forma das ferramentas seja manipulada fornecendo maior ou menor eficiência à quebra, será evidente a preferência do macaco por determinadas formas (ou dimensões dela), sendo estas aquelas mesmas que na sua história de desenvolvimento do uso de ferramentas aumentaram o sucesso ou eficiência na quebra. Além disso, no caso de existir preferência por algumas formas particulares das pedras, teremos que encontrar correlação entre o nível de seletividade e eficiência nos experimentos e o nível de eficiência natural do sujeito.

Material e Métodos

Local e Sujeitos

A pesquisa foi realizada no Parque Ecológico do Tietê (PET), localizado na zona leste do município de São Paulo, que ocupa uma área de 14km². O grupo de macacos-prego semicativo habita uma ilha de 4.000m², com acesso restrito aos visitantes. A vegetação da ilha é composta de arbustos (frutíferos e não frutíferos), algumas árvores nativas e de eucalipto. O solo da ilha é de terra. Adicionalmente, estão dispostas duas redes confeccionadas com mangueiras de bombeiro entrelaçadas que foram colocadas na ilha como enriquecimento físico (Rodrigues, 2014). O grupo é composto por 37 indivíduos: 21 adultos, 7 machos e 14 fêmeas; 5 subadultos machos; 7 juvenis, 6 machos e uma fêmea, e 3 infantes. Todos os animais são aprovisionados diariamente de verduras, frutas e uma mistura de polenta de fubá com ovos cozidos e ração canina como suplemento alimentar, mas também podem se alimentar de comida natural disponível como frutos, folhas e insetos. A área do parque possui quatro espécies de palmeiras, incluindo os frutos do jerivá (*Syagrus romanzoffiana*), que são quebrados pelos macacos-prego através do uso de pedras (Resende, 2004).

A partir de fevereiro de 2009, o grupo de pesquisa começou levar pedras e cocos à ilha para estudar a ontogênese do comportamento de quebra no grupo, tendo até a presente data sete machos que desenvolveram o comportamento de quebra adequada de cocos, conseguindo a participação de cinco deles no presente estudo (Tabela 1).

Tabela 1.

Indivíduos que desenvolveram o comportamento de quebra adequada de cocos.

Sujeito	Idade	Início de quebra
Caio	Juvenil	Junho 2013
Cupuaçu*	Juvenil	Abril 2012
Cuzco*	Juvenil	Março 2010
Floyd	Adulto	Abril 2009
Frapê*	Juvenil	Outubro 2012
Nuli*	Juvenil	Fevereiro 2010
Sagu*	Adulto	Abril 2009

Nota. Nomes, idades e data de início de quebra são apresentados. *Sujeitos que participaram do presente estudo.

Sítios experimentais

O experimento foi realizado em três sítios de quebra simultâneos (ver exemplo de um sítio na Figura 1), distribuídos na ilha que habitam os indivíduos, sendo os mesmos empregados na pesquisa de ontogênese do comportamento de quebra do grupo e que garantem maiores oportunidades de participação dos sujeitos no experimento (Resende & Ballesteros-Ardila, 2014).

Cada sítio experimental é constituído dos seguintes itens (Figura 2):

1. Um bloco de concreto que funciona como bigorna, sendo as mesmas bigornas empregadas em estudos anteriores realizados no PET (Falótico, 2006; Oliveira, 2012).
2. Uma filmadora fixa, posicionada dentro de uma caixa de acrílico aderida a uma estaca de madeira inserida no chão a uma distância de aproximadamente três metros da bigorna, permitindo a visibilidade adequada para realizar os registros da atividade dos sujeitos nos sítios de quebra.
3. Um conjunto de três pedras equidistantes da bigorna.
4. Cocos da espécie *Syagrus romanzoffiana*.

Figura 1. Um dos sítios experimentais onde foi realizado o experimento, ao fundo à direita a câmera de filmagem na caixa de acrílico. Dois indivíduos do grupo, à esquerda participando do experimento, à direita observando a quebra. O bloco de concreto é a bigorna e as pedras fazem parte de um dos conjuntos de pedras artificiais disponibilizados.

Figura 2. Exemplo da disposição dos objetos no sitio de quebra. Três pedras equidistantes da bigorna e cocos do jerivá disponíveis.

Pedras artificiais

Pedras artificiais com os mesmos materiais empregados em experimentos similares (Borgo et al, 2013; Fragaszy et al, 2010a; Visalberghi et al, 2009b): Moldes de silicone recheios de resina de poliéster insaturado líquido (*Silica synthetic Amorphous Colloidal Silicon Dioxide, aereosil*) e peróxidos orgânicos de endurecimento (Butanox M 50), foram manufaturadas com a ajuda do Laboratório de Réplicas do Instituto de Geociências da USP, garantindo a manipulação controlada das características das pedras.

Foram constituídos oito conjuntos de três pedras, cada conjunto de pedras diferia na combinação de três características manipuladas (nossas variáveis independentes):

- **Forma das pedras**, duas dimensões da forma foram manipuladas independentemente:
 1. *A possibilidade de pegada do martelo pelo indivíduo* (“Pegada”): quando manipulada esta dimensão o conjunto de três pedras foi composto por uma “Pedra Cubo” que impede o macaco de fechar a mão ao redor dela, uma semiesfera (“Pedra Redonda”) que permite ao macaco um agarre intermediário e uma pedra oval (“Pedra Achatada”) que permite ao macaco segurar a pedra (Figura 3).

2. A *superfície potencial de contato no golpe* (“Superfície”): quando manipulada esta dimensão o conjunto de três pedras foi composto por uma pedra com uma superfície totalmente lisa (“Pedra Plana”) que potencialmente garante o contato entre a pedra e o coco no golpe, uma com ondulações (“Pedra Ondulada”) que potencialmente garante uma possibilidade de contato intermediário e outra côncava (“Pedra Côncava”) que potencialmente impede o contato entre a pedra e o coco no golpe. A profundidade da ondulação e da concavidade era maior do que a altura de um fruto de jerivá, garantindo que, em um golpe, a concavidade não fornecesse contato entre a pedra e o coco (Figura 4).

Cabe ressaltar que, quando manipulada a possibilidade de pegada, foi mantida constante a superfície potencial de contato (81cm^2) entre as pedras do conjunto; igualmente, quando manipulada a superfície potencial de contato, foi mantida constante a dimensão de possibilidades de pegada entre as pedras do conjunto.

- **Peso do martelo**, manipulamos o peso das pedras de modo que para cada uma das dimensões da forma das pedras manipulada, foram manufaturados conjuntos de três pedras todas com um peso de 600g (“Leve”) e outros com as três pedras com 1000g (“Pesado”).
- **Distancia de transporte**, cada conjunto de três pedras poderia ser posicionado em duas categorias: *Perto* (30cm) e *Longe* (150cm) da bigorna.

Figura 3. Modificações da forma das pedras em relação à possibilidade de pegada que pode realizar o macaco, à esquerda a pedra cubo, no centro a pedra redonda e à direita a pedra achatada.

Figura 4. Modificações da forma das pedras em relação à superfície potencial de contato com o coco no golpe, à esquerda a pedra plana, no centro a pedra ondulada e à esquerda a pedra côncava.

Delineamento Experimental

Considerando as três variáveis independentes, foi aplicado um delineamento experimental de medidas repetidas com três fatores: 2x2x2 (correspondentes às nossas variáveis independentes, cada uma com dois valores) com uma única linha de base, obtendo oito condições experimentais a serem testadas com o mesmo grupo e uma fase prévia de linha de base (Tabela 2).

Tabela 2

Condições experimentais possíveis para um delineamento experimental de medidas repetidas com três fatores: 2x2x2 e distribuição do número de sessões coletadas para cada condição.

	Linha de base	Pegada Leve Perto	Pegada Leve Longe	Pegada Pesado Perto	Pegada Pesado Longe	Superfície Leve Perto	Superfície Leve Longe	Superfície Pesado Perto	Superfície Pesado Longe
Forma	Natural	Pegada	Pegada	Pegada	Pegada	Superfície	Superfície	Superfície	Superfície
Peso	350g-1000g	Leve	Leve	Pesado	Pesado	Leve	Leve	Pesado	Pesado
Distância	~60cm	Perto	Longe	Perto	Longe	Perto	Longe	Perto	Longe
Sessões	12	9	7	11	8	2	1	11	8

Nota. Nas colunas as condições, nas linhas as variáveis independentes e o número de sessões coletadas para cada condição. As colunas destacadas em cinza correspondem às condições não consideradas na análise por não atingir o critério mínimo de 10 tentativas de escolha para um ou mais sujeitos.

Visando neutralizar os efeitos indesejáveis derivados da própria estrutura do delineamento de medidas repetidas (efeito de ordem, ou *period effect*, relacionado com

o efeito produzido pela posição na sequência da condição testada; e o efeito residual, ou *carry-over effect*, conhecido por ser um efeito cumulativo que é produto da experiência do sujeito nas condições experimentais anteriores, como, por exemplo, efeito da aprendizagem) e considerando a impossibilidade de controlar estes efeitos por meio das estratégias tradicionais de quadrado latino ou o uso de grupos aleatórios para cada condição, foi aleatorizada a ordem de apresentação das condições experimentais, mantendo o delineamento fatorial de medidas repetidas com uma única fase inicial de linha de base.

Procedimento

A participação dos sujeitos no experimento foi oportunística, não restringindo o acesso e atividade nos sítios de quebra nem aos itens neles dispostos para nenhum indivíduo do grupo.

O procedimento da linha de base foi o mesmo que empregado no estudo de ontogênese do comportamento de quebra do grupo: dispondo para cada dia ~90 cocos distribuídos entre os três sítios de quebra, cada sítio com três pedras naturais encontradas no PET com um peso entre 350g e 1000g, a atividade foi filmada até acabarem os cocos ou com o abandono dos indivíduos do local de quebra.

Durante a fase experimental, foram empregados os mesmos três sítios simultâneos de quebra da linha de base, foi fornecido um conjunto de três pedras por sítio para cada dia, seguindo a aleatorização realizada antes do início da fase experimental, testando assim uma condição experimental diferente por cada sítio para cada dia.

O procedimento nas condições experimentais foi através de tentativas discretas: para cada tentativa de escolha, posicionamos um conjunto de três pedras, correspondente à condição designada para o sítio, e cinco cocos por tentativa. Cada tentativa discreta foi iniciada com a aproximação de um indivíduo ao sítio de quebra (~3m), sendo continuamente registrado por meio de filmagem até o final, para sua posterior transcrição e análise. Após o macaco deixar o sítio, ou consumir os cocos disponíveis, reposicionamos as pedras e novos cocos, para assim iniciar uma nova tentativa de escolha.

A duração da sessão experimental dependeu do interesse dos indivíduos em participar, de modo que quando não havia mais atividade dos indivíduos o pesquisador retirou os itens de pesquisa e abandonou o local.

Como método para controlar possível viés na preferência por alguma variável diferente à nossa manipulação da forma das ferramentas, no início de cada dia de teste, e periodicamente durante todo o teste, polpa de coco jerivá foi esfregada em todas as pedras, como feito por Liu et al (2011), como estratégia de controle da possível influência destes sinais na escolha realizada pelos indivíduos, garantindo que todas as pedras tivessem o mesmo odor e a mesma oleosidade. Adicionalmente, entre uma tentativa de escolha e a seguinte, foi modificada a posição das pedras para evitar um efeito de preferência por posição.

Coleta, registro e análise de dados

A coleta foi realizada entre os dias 06 de setembro de 2013 e 28 de novembro de 2013. Obtendo 12 sessões de linha de base e 57 sessões experimentais distribuídas entre as 8 condições experimentais (Tabela 2).

Na fase experimental, o número de sessões experimentais para cada condição é desigual devido a insucessos no decorrer do experimento (quebra de alguma das pedras do conjunto ao serem usadas ou perda de pedras ao serem jogadas na lagoa por um indivíduo do grupo não usuário de ferramentas, que exibiu esse comportamento tanto com pedras naturais, quanto com as nossas pedras experimentais), principalmente com os conjuntos de pedras leves (600g) que foram muito suscetíveis de quebrarem durante o uso por parte dos macacos-prego. Então, quando as pedras de alguma condição específica não estavam disponíveis quando sorteadas as condições, não foi realizada a sessão correspondente, nem mudada a ordem de apresentação. Obtivemos, portanto, sessões experimentais diárias com uma, duas ou três condições experimentais disponíveis por dia.

As sessões experimentais foram filmadas e posteriormente transcritas mediante o uso do software especializado Observer®. A partir do encontrado em experimentos similares (Fragaszy, 2010a; Visalberghi, 2009b), elaboramos um catálogo comportamental com categorias a serem usadas durante o registro (Tabela 3).

Tabela 3

Catalogo comportamental para registro.

Categorias de atividade	Descrição	Modificadores	Registro
Chega_no_sitio	O sujeito aproxima-se a menos 3m da bigorna	N/A	Frequência e Duração
Fora_do_sitio	O sujeito afasta-se a mais de 3m da bigorna	N/A	
Categorias de Manipulação			
Pegar_Coco	Segurar um coco com as mãos, pés, cauda ou boca	N/A	Frequência
Posicionar_Coco	O animal coloca o coco em cima da bigorna, deixando-o em posição estável	N/A	Frequência
Tapping	Bater com a ponta dos dedos numa pedra	Forma da Pedra	Frequência
Pegar_Pedra	Segurar uma pedra com as mãos, pés, cauda ou boca	Forma da Pedra	Frequência
Levantar_Pedra	Deslocar a pedra do chão	Forma da Pedra	Frequência
Virar_Pedra	Virar uma pedra sem levantar do chão	Forma da Pedra	Frequência
Categorias de Escolha			
Escolha_Pedra	Levantar uma pedra e transporta-la até a bigorna	Forma da Pedra	Frequência
Proximidade_Escolha	Posição da pedra escolhida em relação à posição do indivíduo.	Próxima/Não_Próxima	Frequência
Mudança_Escolha	Dentro do mesmo episódio de quebra, após ter registrado um evento de escolha –tendo ou não usado a pedra– o indivíduo pega, levanta e transporta outra pedra até bigorna	Forma da PedraInicialXFormaPedraFinal	Frequência
Categorias de Quebra			
Bater_Coco	Golpear o coco com o Martelo	Forma da Pedra	Frequência
Fly-Off	Deslocamento –voando– do coco da bigorna produto do golpe com o martelo	Forma da Pedra	Frequência
Quebra-Coco	Rompimento do endocarpo do coco ao ser golpeado com o martelo	Forma da Pedra	Frequência

Nota. Nas categorias comportamentais com modificadores de “Forma da Pedra”, foram registrados os comportamentos de cada categoria em relação às diferentes formas de pedra disponíveis no experimento (i.e Natural, Cubo, Redonda, Achatada, Plana, Ondulada ou Côncava). Na categoria de proximidade de escolha, foi registrada escolha próxima ou não próxima do sujeito. Na categoria de mudança de escolha, foi registrada a mudança de escolha em relação à pedra escolhida inicialmente e a pedra alvo de mudança.

Na linha de base, analisamos para cada indivíduo os dados de “Engajamento”: calculando uma taxa de atividade de cada indivíduo nos sítios de quebra por hora de filmagem, e “Proficiência cotidiana”: uma taxa de eficiência de quebra a partir do número de cocos quebrados por cada 100 golpes para cada indivíduo, e “*Fly-off*”: taxa de deslocamento do coco da bigorna a partir do número de cocos que voaram da bigorna por cada 100 golpes.

Com o intuito de determinar se a escolha dos indivíduos foi realizada de maneira independente da proximidade da pedra com o indivíduo, nas análises dos dados das condições experimentais, calculamos a porcentagem individual de escolha da pedra por proximidade: escolha da pedra “Próxima” e “Não_Próxima” independentemente de qual forma de pedra foi escolhida; utilizando o teste *t* para amostras relacionadas, comparamos as diferenças na porcentagem média de escolha entre as duas categorias.

O teste Qui-Quadrado foi realizado para determinar se havia diferenças entre as escolhas dos martelos de acordo com a forma para cada indivíduo em cada condição experimental. Como feito em estudos anteriores (Falótico, 2006; Fragaszy et al, 2010a; Fragaszy et al, 2013; Schrauf et al, 2012), optamos por empregar o teste apesar da dependência entre as observações, com o fim de fornecer apoio estatístico à existência da preferência por algumas formas dos martelos. Junto com a análise da frequência absoluta de escolha foram analisados descritivamente os eventos de mudança de escolha da pedra.

Com o intuito de determinar as possíveis interações entre a escolha dos martelos em função da forma da pedra e as variáveis de custo da tarefa (peso e distância de transporte dos martelos), e também para comparar os martelos quanto às medidas de eficiência calculadas, foram utilizados os testes não paramétricos Friedman e Wilcoxon, para análise de dados de medidas repetidas, junto com os testes *post hoc* Tukey HSD e Bonferroni para determinar as diferenças significativas par a par nas comparações.

Correlações de Spearman foram realizadas para determinar a possível relação entre a porcentagem de escolha e as medidas de eficiência das pedras experimentais, porcentagem de escolha e engajamento na linha de base, porcentagem de escolha e as medidas de eficiência na linha de base.

Todas as análises e figuras foram realizadas com ajuda dos softwares especializados para análise e apresentação de dados; as frequências absolutas, taxas e figuras foram feitas com ajuda de Microsoft Office Excel 2007; os testes qui-quadrado foram realizados com ajuda do BioEstat 3.0; finalmente, os dados descritivos, as correlações de Spearman, os testes para análise de dados de medidas repetidas para amostras pareadas (*t* pareado, Wilcoxon e Friedman) e os testes *post hoc* (Bonferroni e Tukey HSD) foram executados a través do software SigmaStat 3.5.

Resultados

Na fase de linha de base, obtivemos 8h 27min de filmagem da atividade de quebra dos indivíduos nos sítios. Calculamos: taxa de atividade em minutos por hora para cada indivíduo, número de cocos quebrados por cada 100 golpes e o número de ocorrências de *fly-off* por cada 100 golpes (Tabela 4).

Tabela 4

Dados obtidos na linha de base. Engajamento: taxa de atividade em minutos por hora na condição de linha de base para cada indivíduo. Eficiência: número de cocos quebrados por cada 100 golpes na condição de linha de base para cada indivíduo. Fly-off: número de ocorrências de fly-off por cada 100 golpes na condição de linha de base para cada indivíduo.

	Cuzco	Nuli	Sagu	Cupuaçu	Frapê
Engajamento	6.103	9.855	1.928	10.264	4.516
Eficiência	23.809	40.562	48.571	18.863	16.867
<i>Fly-off</i>	2.976	9.236	2.854	13.178	24.096

Estes resultados, que permitem descrever o nível de engajamento e eficiência em condições cotidianas de quebra para cada indivíduo, foram usados para análises posteriores visando estabelecer uma possível relação com a preferência e eficiência encontrada em condições experimentais.

Resultados condições experimentais

Obtivemos no total 403 tentativas discretas de escolha distribuídas entre todos os sujeitos e todas as condições. A distribuição da frequência de tentativas por sujeito e condição experimental é apresentada na tabela 5. Cinco sujeitos atingiram o critério mínimo de 10 tentativas nas condições Pegada_Pesada_Perto e Superfície_Pesada_Perto; quatro sujeitos nas condições Pegada_Leve_Perto, Pegada_Pesada_Longe e Superfície_Pesada_Longe; e, três sujeitos na condição Pegada_Leve_Longe. Finalmente nas condições Superfície_Leve_Perto e Superfície_Leve_Longe nenhum indivíduo atingiu o critério, motivo pelo qual os dados de escolha dessas condições foram desconsiderados nas análises.

Tabela 5

Distribuição das tentativas de escolha para cada indivíduo por condição.

Condição	Cuzco	Nuli	Sagu	Cupuaçu	Frape	Total Condição
Pegada_Leve_Perto	11	16	8	17	13	65
Pegada_Leve_Longe	3	10	3	18	13	47
Pegada_Pesada_Perto	23	10	10	26	12	81
Pegada_Pesada_Longe	14	15	7	10	10	56
Superfície_Leve_Perto	3	6	0	3	0	12
Superfície_Leve_Longe	0	0	0	2	2	4
Superfície_Pesada_Perto	16	11	11	19	15	72
Superfície_Pesada_Longe	18	19	6	13	10	66
Total	88	87	45	108	75	403

Nota. As caixas destacadas em cinza correspondem às tentativas não consideradas na análise por não atingir o critério.

Posição Escolha

O procedimento empregado permite o controle de um possível viés de preferência pela posição das ferramentas, por meio do reposicionamento das pedras entre tentativas, mas não garante o controle de um viés de preferência pela proximidade da pedra em relação à chegada do indivíduo. Então, analisamos inicialmente a escolha dos indivíduos em relação à proximidade da pedra escolhida: quando o indivíduo escolheu a pedra mais próxima dele, sem se aproximar de outra pedra ou chegar na bigorna antes da escolha, foi registrada a escolha da pedra como “Próxima”, caso contrário foi registrada a escolha da pedra como Não_Proxima.

Não havendo diferenças no padrão de escolha em relação à proximidade da pedra entre condições (Figura 5), e considerando somente 360 tentativas de escolha nas condições em que os indivíduos atingiram o critério mínimo de 10 tentativas, foi realizada uma comparação das porcentagens médias de escolha da pedra entre

“Próxima” e “Não_Proxima” (Figura 6), utilizando o teste t para amostras pareadas. Obtivemos diferenças na porcentagem média de escolha ($t: -8,749$; $gl: 4$; $p < 0,001$) entre a pedra Próxima (Média=21,11%; St. D. = 7,382; SEM = 3,301) e a pedra Não_Proxima (Média=78,88%; St. D. = 7,382; SEM = 3,301).

Figura 5. Porcentagem média e erro padrão de escolha da pedra “Proxima” e “Não_Proxima” para cada condição analisada.

Figura 6. Porcentagem média e erro padrão de escolha da pedra “Proxima” e “Não_Proxima” para todas as condições incluídas na análise.

O resultado anterior permitiu constatar que os indivíduos não baseiam a escolha a partir da posição ou proximidade das pedras, portanto, em seguida, realizamos análises para determinar se a escolha dos indivíduos foi feita em função da forma das pedras para cada indivíduo em cada condição.

Escolha por forma

Foram realizados testes χ^2 com as frequências absolutas de escolha da pedra por cada indivíduo para cada condição, análise que foi realizada somente com os dados dos indivíduos que atingissem o critério mínimo de 10 tentativas de escolha.

Na condição Pegada_Leve_Perto (Figura 7), foi verificada uma preferência significativa pela pedra achatada para Cuzco ($\chi^2=16,545$; gl=2; p=0.0003), Nuli ($\chi^2=21,50$; gl=2; p=0.0000), Cupuaçu ($\chi^2=34,00$; gl=2; p=0.0000) e Frapê ($\chi^2=26,00$; gl=2; p=0.0000).

Figura 7. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Pegada_Leve_Perto. Os asteriscos apontam a escolha da pedra preferida já na primeira tentativa.

Na condição Pegada_Leve_Longe (Figura 8), foi verificada uma preferência significativa pela pedra achatada para Nuli ($\chi^2=20,00$; gl=2; p=0.0000), Cupuaçu ($\chi^2=12,00$; gl=2; p=0.0025) e Frapê ($\chi^2=20,462$; gl=2; p=0.0000), nesta condição Cuzco e Sagu não atingiram o critério mínimo de 10 tentativas de escolha.

Figura 8. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Pegada_Leve_Longe. Os asteriscos apontam a escolha da pedra preferida já na primeira tentativa.

Na condição Pegada_Pesada_Perto (Figura 9), foi verificada uma preferência significativa pela pedra achatada para Cuzco ($\chi^2=18,087$; gl=2; $p=0.0001$), Sagu ($\chi^2=10,40$; gl=2; $p=0.0055$), Cupuaçu ($\chi^2=19,00$; gl=2; $p=0.0001$) e Frapê ($\chi^2=9,50$; gl=2; $p=0.0087$); e não foi encontrada a preferência significativa para Nuli ($\chi^2=5,60$; gl=2; $p=0.0608$).

Figura 9. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Pegada_Pesada_Perto. Os asteriscos apontam a escolha da pedra preferida já na primeira tentativa.

Na condição Pegada-Pesada_Longe (Figura 10), foi verificada uma preferência significativa pela pedra achatada para Cuzco ($\chi^2=28,00$; gl=2; p=0.0000), Nuli ($\chi^2=12,40$; gl=2; p=0.0020), Cupuaçu ($\chi^2=14,60$; gl=2; p=0.0007) e Frapê ($\chi^2=14,60$; gl=2; p=0.0007). Nesta condição Sagu foi o único indivíduo que não atingiu o critério mínimo de 10 tentativas de escolha.

Figura 10. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Pegada_Pesada_Longe. Os asteriscos apontam a escolha da pedra preferida já na primeira tentativa.

A partir desses resultados, é possível afirmar que os indivíduos exibem uma clara preferência, quando manipulada a forma dos martelos modificando as possibilidades de pegada, escolhendo mais vezes a pedra achatada (n=190) do que a pedra redonda (n=29) e poucos episódios de escolha da pedra cubo (n=9).

Na condição Superfície_Pesada_Perto (Figura 11), foi verificada uma preferência significativa pela pedra plana para Cuzco ($\chi^2=6,125$; gl=2; p=0.0468), Nuli ($\chi^2=16,545$; gl=2; p=0.0003), Sagu ($\chi^2=11,636$; gl=2; p=0.0030), Cupuaçu ($\chi^2=22,211$; gl=2; p=0.0000) e Frapê ($\chi^2=19,20$; gl=2; p=0.0001).

Figura 11. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Superfície_Pesada_Perto. Os asteriscos apontam a escolha da pedra preferida já na primeira tentativa.

Na condição Superfície_Pesada_Longe (Figura 12), foi verificada uma preferência significativa pela pedra plana para Cuzco ($\chi^2=14,333$; gl=2; $p=0.0008$), Nuli ($\chi^2=22,842$; gl=2; $p=0.0000$), Cupuaçu ($\chi^2=26,00$; gl=2; $p=0.0000$) e Frapê ($\chi^2=20,00$; gl=2; $p=0.0000$). Nesta condição Sagu não atingiu o critério mínimo de 10 tentativas de escolha.

Figura 12. Frequência de escolha dos martelos de acordo com a forma pelos indivíduos na condição Superfície_Pesada_Longe. Os asteriscos apontam a escolha da pedra preferida já na primeira tentativa.

Com esses resultados das duas condições de manipulação da superfície potencial de contato com o coco, com dados suficientes para realizar as análises, é possível afirmar que os indivíduos exibem uma clara preferência, escolhendo as pedras da forma plana (n=110), havendo poucos episódios de escolha da pedra ondulada (n=15) e da pedra côncava (n=7).

Mudanças de Escolha

Ao considerar os eventos de mudança de escolha, foram encontradas 12 (5,26%) ocorrências nas condições em que foi manipulada a possibilidade de pegada dos martelos (Tabela 6), e nove (6,81%) nas condições em que foi manipulada a superfície potencial de contato (Tabela 7).

Tabela 6

Distribuição das frequências de mudança de escolha nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.

		Mudança			
		Achatada	Redonda	Cubo	Total
Escolha	Achatada	-	1	0	1
	Redonda	7	-	0	7
	Cubo	3	1	-	4
	Total	10	2	0	12

Nota. Nas linhas a pedra escolhida inicialmente, nas colunas a pedra alvo da mudança.

Tabela 7

Distribuição das frequências de mudança de escolha nas condições de manipulação da superfície potencial de contato

		Mudança			
		Plana	Ondulada	Côncava	Total
Escolha	Plana	-	0	0	0
	Ondulada	8	-	0	8
	Côncava	1	0	-	1
	Total	9	0	0	9

Nota. Nas linhas a pedra escolhida inicialmente, nas colunas a pedra alvo da mudança.

Os resultados mostram que poucos episódios de mudança de escolha foram observados. Contudo, quando ocorreram mudanças a pedra alvo da mudança foram principalmente a pedra achatada (n=10) e plana (n=9), seguida da pedra redonda (n=2), não encontrando eventos de mudança para as pedras cubo, ondulada e côncava. Esses resultados confirmam a preferência encontrada anteriormente, ou seja, mesmo quando a escolha inicial não foi pelas pedras achatada ou plana, mudanças de escolha para estas pedras preferidas ocorreram.

Escolha por Forma e Proximidade

Os resultados expostos até o momento evidenciam que os indivíduos não baseiam a escolha em função da proximidade da pedra, quando considerados todos os episódios de escolha independentemente da pedra escolhida, mas baseiam a escolha em função da forma dos martelos, encontrando preferências claras pelas formas achatada e plana. No entanto, também encontramos episódios de escolha das pedras não preferidas em todas as condições e todos os indivíduos escolheram no mínimo em uma ocasião a pedra não preferida. Essa observação nos levou a considerar sobre a possibilidade de que esses episódios de escolha pelas pedras não preferidas estejam relacionados com episódios de escolha por proximidade, ou seja, será que aqueles episódios em que os indivíduos escolheram as pedras não preferidas foram episódios de escolha principalmente por proximidade? Para tal, contabilizamos as frequências absolutas de escolha “Próxima” e Não_Próxima” para cada tipo de pedra e calculamos a porcentagem correspondente para o total de escolhas de cada tipo de pedra (Tabela 8).

Tabela 8

Distribuição das frequências de escolha por proximidade para cada tipo de pedra

	Próxima	Não_Próxima	Total
Achatada	41 (21,58%)	149 (78,42%)	190
Redonda	10 (34,48%)	19 (65,52%)	29
Cubo	6 (66,67%)	3 (33,33%)	9
Plana	19 (17,12%)	92 (82,88%)	111
Ondulada	3 (21,43%)	11 (78,57%)	14
Côncava	5 (71,43%)	2 (28,57%)	7
Total	84 (23,33%)	276 (76,67%)	360

Nota. Nas colunas as categorias de proximidade da escolha, nas linhas a forma das pedras e entre parêntesis as porcentagens correspondentes aos episódios totais de escolha de cada tipo de pedra.

Os resultados descritivos encontrados permitem afirmar que, para o caso das pedras cubo e côncava menos preferidas, as porcentagens de escolha por proximidade invertem-se em relação à distribuição de escolha por proximidade encontrada quando considerados todos os eventos de escolha, ou seja, quando escolhidas as pedras cubo e côncava, as escolhas ocorreram mais na posição de proximidade.

Interação forma-peso-distância na escolha

Considerando a preferência dos indivíduos pela pedra achatada e plana em todas as condições, prosseguimos a análise avaliando se a preferência dos indivíduos por cada pedra é influenciada pelas variáveis de peso e distância de transporte das pedras. Foram usados os dados de porcentagem de escolha de cada pedra para cada condição comparando a porcentagem de escolha através das condições “leve_perto”, “leve_longe”, “pesada_perto” e “pesada_longe” para cada tipo de pedra.

Nas condições em que foi manipulada a possibilidade de pegada das pedras (Figura13), não foram encontradas diferenças significativas na porcentagem de escolha da pedra achatada ($S=5,00$; $gl=3$; $p=0,207$), da pedra redonda ($S=4,20$; $gl=3$; $p=0,300$) nem da pedra cubo ($S=5,40$; $gl=3$; $p=0,446$) em relação ao peso ou distancia.

A respeito das condições em que foi manipulada a superfície potencial de contato com o coco foram usados os dados das porcentagens de escolha somente nas condições em que houve indivíduos que atingiram o critério de no mínimo 10 tentativas de escolha. Portanto, foram efetuadas somente comparações entre as porcentagens de escolha da pedra nas condições “Pesada_Perto” e “Pesada_Longe” para cada pedra tipo de pedra (Figura 14). Não encontramos diferenças significativas na porcentagem de escolha da pedra plana ($W=9,000$; $Z=1,461$; $gl=4$; $p=0,250$), da pedra ondulada ($W=2,000$; $Z=0,365$; $gl=4$; $p=0,875$) nem da pedra côncava ($W=10,000$; $Z=-1,826$; $gl=4$; $p=0,125$).

Estes resultados permitem afirmar que as preferências encontradas pelas pedras achatada e plana não são afetadas significativamente em função das variáveis de custo da tarefa: peso e distância de transporte.

Figura 13. Porcentagem de escolha para cada pedra em cada condição quando a forma manipulada foi a possibilidade de pegada. A linha horizontal indica a mediana e os bigodes correspondem aos valores mínimos e máximos.

Figura 14. Porcentagem de escolha da pedra para cada pedra em cada condição quando a forma manipulada foi superfície potencial de contato com o coco. A linha horizontal indica a mediana e os bigodes correspondem aos valores mínimos e máximos.

Eficiência das pedras

Havendo encontrado preferências em função da forma dos martelos, prosseguimos a análise testando se as formas dos martelos diferem nos benefícios e custos que representam para a quebra de cocos. Para estas análises, comparamos os martelos quanto a eficiência (Número de cocos quebrados por cada 100 golpes) e *Fly-off* (ocorrências de deslocamento do coco por cada 100 golpes), medidas que são utilizadas para determinar a eficiência dos martelos por cada tipo de pedra. Importante esclarecer que, para esta análise, foram utilizadas as frequências acumuladas do número de batidas e número de cocos quebrados das condições “Perto” e “Longe” para cada forma da pedra, assumindo que a distância de transporte não é uma variável que afeta em si mesma o número de golpes necessários para quebrar o coco ou a possibilidade de deslocamento do coco da bigorna na batida, portanto, a comparação das medidas de eficiência das pedras é realizada considerando as condições “Leve” e “Pesado” de forma independente.

Quando comparados os martelos nas condições em que foi manipulada a possibilidade de pegada do martelo (Figura 15 e Figura 16), foi encontrada uma diferença significativa na eficiência dos martelos das condições “Leve” ($S=9,500$; $gl=2$; $p=0,024$), e o teste *post hoc* (Tukey) reconheceu diferenças significativas no número de cocos quebrados por cada 100 golpes entre a pedra Achatada_Leve e Cubo_Leve, não encontrando diferenças significativas entre a pedra Achatada_Leve e Redonda_Leve, nem entre a pedra Redonda_Leve e Cubo_Leve. Comparando o *fly-off*, não foram encontradas diferenças significativas entre os mesmos martelos ($S=2,000$; $gl=2$; $p=0,833$). Igualmente, realizando comparações entre os martelos nas condições “Pesado”, foram encontradas diferenças significativas ($S=6,000$; $gl=2$; $p=0,028$) e o teste *post hoc* (Tukey) encontrou diferenças significativas na eficiência entre a pedra Achatada_Pesada e Cubo_Pesada, não encontrando diferenças significativas entre a pedra Achatada_Pesada e Redonda_Pesada, nem entre a pedra Redonda_Pesada e Cubo_Pesada. Quando comparado *fly-off*, não foram encontradas diferenças significativas entre os martelos ($S=4,667$; $gl=2$; $p=0,194$).

Figura 15. Número de cocos quebrados por cada 100 golpes para cada pedra quando a forma manipulada foi a possibilidade de pegada. A linha horizontal indica a mediana e os bigodes correspondem aos valores mínimos e máximos.

Figura 16. Número de ocorrências de fly-off por cada 100 golpes para cada pedra quando a forma manipulada foi a possibilidade de pegada. A linha horizontal indica a mediana e os bigodes correspondem aos valores mínimos e máximos.

Estes resultados evidenciam que a pedra achatada fornece maior eficiência no número de cocos quebrados por cada 100 golpes do que a pedra redonda e a cubo, tanto nas condições em que as pedras disponíveis são leves quanto nas condições em que as pedras disponíveis são pesadas. A pedra redonda, quando o peso é leve, só permitiu um indivíduo ter sucesso num episódio de quebra, aumentando a eficiência quando a pedra redonda é pesada, já que todos os indivíduos conseguiram ter episódios bem sucedidos de quebra com o uso desta. Por último, a pedra cubo resulta ser completamente ineficiente para a quebra de cocos tanto na condição leve quanto pesada: nenhum indivíduo atingiu sucesso com o uso desta pedra.

Por outra parte, a partir das análises estatísticas, a forma dos martelos quando manipulada a possibilidade de pegada, parece não produzir diferenças no risco de deslocamento do coco durante o golpe. No entanto, é preciso detalhar aqui que, ao revisar os dados por indivíduo, a medida de *fly-off* para cada pedra é amplamente variável entre sujeitos: dois sujeitos, Sagu e Nuli, não apresentaram valores altos nesta medida para nenhuma das pedras, enquanto os outros três sujeitos, Cuzco, Cupuaçu e Frapê apresentaram maiores níveis de deslocamento do coco na batida quando usadas as pedras Redonda e Cubo.

Já nas condições em que foi manipulada a superfície potencial de contato com o coco, comparamos as medidas de eficiência (Figura 17) e *fly-off* (Figura 18) por cada apenas entre os martelos nas condições “Pesado”, devido à ausência de dados suficientes de uso e escolha nas condições “Leve” para esta manipulação da forma. Encontrando diferenças significativas na eficiência ($S=9,333$; $gl=2$; $p=0,008$) e o teste *post hoc* (Tukey) mostrou diferenças significativas entre a pedra Plana_Pesada e Concava_Pesada, mas não encontrou diferenças significativas ao comparar a pedra Plana_Pesada e Ondulada_Pesada, nem entre a pedra Ondulada_Pesada e a Concava_Pesada. Finalmente, quando comparamos a de *fly-off*, encontramos diferenças significativas entre os martelos ($S=10,000$; $gl=2$; $p<0,001$) e o teste *post hoc* (Tukey) mostrou diferenças significativas entre a pedra Ondulada_Pesada e a Pedra Concava_Pesada, não encontrando diferenças significativas na medida de *fly-off* entre as pedras Ondulada_Pesada e Plana_Pesada, igualmente não encontrando diferenças significativas entre a pedra Plana_Pesada e Concava_Pesada.

Figura 17. Número de cocos quebrados por cada 100 golpes para cada pedra quando a forma manipulada foi a superfície potencial de contato. A linha horizontal indica a mediana e os bigodes correspondem aos valores mínimos e máximos.

Figura 18. Número de ocorrências de *fly-off* por cada 100 golpes para cada pedra quando a forma manipulada foi a superfície potencial de contato. A linha horizontal indica a mediana e os bigodes correspondem aos valores mínimos e máximos.

Este resultado nos permite afirmar que a pedra plana fornece maior eficiência, seguida da pedra ondulada em que três sujeitos (Cuzco, Nuli e Sagu) atingiram sucesso. A pedra côncava é praticamente ineficiente para a quebra de cocos: encontramos unicamente um episódio de quebra bem sucedida para um sujeito (Cuzco). Finalmente, na medida de *fly-off* encontramos que a pedra plana produz um baixo risco de deslocamento do coco, enquanto a pedra ondulada representa um risco maior de deslocamento para todos os sujeitos; a pedra côncava não apresenta risco de deslocamento dada a improbabilidade de contato com o coco no golpe.

Por último, testamos as diferenças de cada pedra em relação à variável de peso, comparando a medida de eficiência e *fly-off* para cada pedra entre as condições “Leve” e “Pesado”. Não encontrando diferenças significativas entre a pedra Achatada_Leve e Achatada_Pesada no número de cocos quebrados ($W=15,000$; $Z=2,023$; $p=0,063$) nem no número de *fly-off* ($W=-2,000$; $Z=-0,169$; $p=0,938$) por cada 100 golpes; nas comparações entre a pedra Redonda_Leve e Redonda_Pesada não foram encontradas diferenças significativas no número de cocos quebrados ($W=15,000$; $Z=2,023$; $p=0,063$) nem no *fly-off* ($W=-2,000$; $Z=-0,365$; $p=0,875$) por cada 100 golpes. A comparação da pedra Cubo_Leve e Cubo_Pesada no número de cocos quebrados por 100 golpes se faz desnecessária já que não houve episódios bem sucedidos de quebra com o uso desta pedra, enquanto que na medida de *fly-off*, não foram encontradas diferenças significativas ($W=6,000$; $Z=1,604$; $p=0,250$). Devido à falta de dados suficientes nas condições “Leve”, foi impossível realizar a comparação quando a característica da forma manipulada foi a superfície potencial de contato.

Eficiência e escolha

Havendo encontrado evidências de que as pedras achatada e plana fornecem maior eficiência na quebra de cocos no número de cocos quebrado por 100 golpes, e considerando as diferenças entre indivíduos na medida de *fly-off*, continuamos a análise testando a possível correlação para ambas medidas de eficiência da pedra e a porcentagem de escolha da pedra, para cada dimensão da forma manipulada: possibilidade de pegada do martelo e superfície potencial de contato com o coco.

Encontramos uma correlação significativa positiva forte (Spearman $\rho=0,833$; $p<0,0001$) entre a eficiência de quebra e a porcentagem de escolha da pedra nas condições em que foi manipulada a possibilidade de pegada do martelo (Figura 19).

Adicionalmente, encontramos uma correlação significativa negativa moderada (Spearman $\rho=-0,420$; $p=0,0065$) entre o número de ocorrências de fly-off e a porcentagem de escolha da pedra (Figura 20).

Figura 19. Figura de dispersão para o número de cocos quebrados por 100 golpes e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.

Figura 20. Figura de dispersão para o numero ocorrências de *fly-off* por 100 golpes e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.

Além disso, foi encontrada uma correlação significativa positiva forte (Spearman $\rho=0,807$; $p < 0,0001$) entre o número de cocos quebrados por 100 golpes e a porcentagem de escolha da pedra nas condições em que foi manipulada a superfície potencial de contato com o coco (Figura 21). Quando considerado o número de ocorrências de *fly-off* e a porcentagem de escolha da pedra (Figura 22), não foi encontrada correlação significativa (Spearman $\rho=0,193$; $p =0,332$).

Figura 21. Figura de dispersão para o número de cocos quebrados por 100 golpes e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da superfície potencial de contato com o coco.

Figura 22. Figura de dispersão para o número de ocorrências de *fly-off* por 100 golpes e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da superfície potencial de contato com o coco.

Estes resultados permitem corroborar o encontrado nas análises de escolha e eficiência realizadas de forma independente: a preferência dos indivíduos pelos martelos está relacionada com a eficiência obtida no uso do martelo, de forma que, quanto maior o número de cocos quebrados por cada 100 golpes, maior é a preferência, tanto na condição de manipulação da possibilidade de pegada quanto na de manipulação da superfície potencial de contato. Já no caso do *fly-off* a relação entre preferência e deslocamento do coco da bigorna só foi constatada na condição de possibilidade de pegada do coco e não na condição de superfície potencial de contato, isto pode ser justificado a partir do fato de que nesta condição a pedra côncava não representa risco nenhum de deslocamento do coco da bigorna.

Relação entre proficiência e engajamento natural com a preferência e eficiência experimental

Com o fim de determinar se a preferência e eficiência encontrada nas condições experimentais está relacionada com o nível de proficiência e engajamento natural de

quebra dos indivíduos, foram testadas as correlações entre as medidas obtidas na fase de linha de base para cada indivíduo (engajamento, número de cocos quebrados e *fly-off* por cada 100 golpes) fazendo uso de pedras não experimentais com as porcentagens de preferência para cada pedra e as medidas de eficiência obtidas nas condições experimentais.

A primeira análise testou a possível correlação entre o nível de engajamento na quebra de cocos em condições cotidianas sem pedras experimentais com a preferência exibida nas condições experimentais, fazendo uso de uma medida de minutos por hora de atividade nos sítios de quebra na condição de linha de base e as porcentagens de escolha de cada indivíduo para cada pedra. Nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo (Figura 23), não foi encontrada uma correlação para a porcentagem de escolha da pedra (Spearman $\rho=-0,0153$; $p=0,917$). Um resultado similar foi encontrado nas condições de manipulação da superfície potencial de contato (Spearman $\rho=-0,388$; $p=0,844$) (Figura 24).

Figura 23. Figura de dispersão para engajamento na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.

Figura 24. Figura de dispersão para engajamento na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da superfície potencial de contato.

Esses resultados nos permitem afirmar que o engajamento em condições não experimentais não está relacionado com o nível de preferência exibido pelos indivíduos nas condições experimentais.

Uma segunda análise foi realizada testando a possível correlação entre o nível de eficiência exibido na quebra de cocos em condições cotidianas, sem pedras experimentais, com a preferência exibida nas condições experimentais. Fazendo uso do número de cocos quebrados e o número de ocorrências de *fly-off* por cada 100 golpes em condições cotidianas, foram testadas inicialmente as condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo, não encontrando correlação da preferência experimental com a eficiência (Spearman $\rho = -0,00779$; $p = 0,957$) (Figura 25) nem o *fly-off* (Spearman $\rho = -0,00163$; $p = 0,991$) (Figura 26) encontrados na linha de base. Quando testadas as condições de manipulação da superfície potencial de contato com o coco, resultados similares foram encontrados tanto para a eficiência (Spearman $\rho = -0,0823$; $p = 0,680$) (Figura 27), quanto que para o *fly off* (Spearman $\rho = -0,126$; $p = 0,528$) (Figura 28).

Figura 25. Figura de dispersão para a proficiência de quebra na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.

Figura 26. Figura de dispersão para a taxa de *fly-off* na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da possibilidade de pegada do martelo.

Figura 27. Figura de dispersão para a proficiência de quebra na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da Superfície potencial de contato.

Figura 28. Figura de dispersão para a taxa de *fly-off* na linha de base e a porcentagem de escolha de cada pedra nas condições de manipulação da Superfície potencial de contato.

Esses resultados permitem afirmar que o nível de proficiência em condições cotidianas de quebra, determinado pelo número de cocos quebrados e *fly-off* por cada 100 golpes com as pedras não experimentais, não está relacionado com a preferência dos indivíduos pela forma dos martelos, nas condições experimentais.

Escolha da pedra e manipulação pré-escolha

Finalmente, com o intuito de determinar se os sujeitos discriminam as pedras a partir das características externas (visuais) dos martelos ou através da manipulação direta das formas das pedras antes de realizar a escolha, contabilizamos as frequências absolutas de escolha quando houve manipulação prévia e quando não houve manipulação prévia dos martelos e calculamos a porcentagem correspondente para o total de escolhas de cada tipo de pedra (Tabela 9).

Tabela 9

Distribuição das frequências dos episódios de escolha com manipulação prévia à escolha para cada tipo de pedra

	Com Manipulação Prévia	Sem Manipulação Prévia
Achatada	39 (20,53%)	151 (79,47%)
Redonda	10 (34,48%)	19 (65,52%)
Cubo	2 (22,22%)	7 (77,78%)
Plana	29 (26,13%)	82 (73,87%)
Ondulada	5 (35,72%)	9 (64,28%)
Côncava	1 (14,29%)	6 (85,71%)
Total	86 (23,88%)	274 (76,11%)

Nota. Nas colunas as categorias de manipulação prévia, nas linhas a forma das pedras e entre parêntesis as porcentagens correspondentes aos episódios totais de escolha de cada tipo de pedra.

Os resultados descritivos encontrados mostram que somente um 23,88% dos episódios de escolha foram precedidos de comportamentos manipulativos das pedras, enquanto 76,11% das escolhas não foram precedidas de manipulação das pedras. Padrão que é similar quando revisadas as porcentagens de escolha para cada tipo de pedra. Permitindo afirmar que, os indivíduos discriminam as pedras principalmente a partir das características visuais independentemente das características próprias da forma de cada pedra.

Discussão

Tradicionalmente as pesquisas sobre a seletividade no uso de ferramentas foram dirigidas de modo a determinar se os indivíduos conseguem selecionar as ferramentas adequadas antes do seu uso, permitindo distinguir entre processos de aperfeiçoamento de rotinas comportamentais, por meio de tentativa-e-erro, e processos simbólico-representacionais, envolvendo compreensão de causalidade através de raciocínio inferencial. No entanto, as evidências apoiando essa dicotomia resultam controversas e na maioria, se não em todos os casos, uma explicação por processos comportamentais parece ser suficiente. Levando alguns autores à conclusão de que a evidência comparativa disponível não se encaixa confortavelmente em nenhuma das perspectivas (Chappell, 2006; Penn & Povinelli, 2007; Seed & Boogert, 2013).

Uma das principais conclusões derivada dessa discussão é que a experiência individual para a resolução de problemas, fazendo uso de ferramentas, desempenha um papel crucial no desenvolvimento do uso de ferramentas. Porém, considerando que o papel da experiência em situações naturais não pode ser reduzido a um processo de encadeamento automático de repertórios explicitamente treinados (Call, 2013; Taylor, Knaebe & Gray, 2012). Assim, uma perspectiva ecológica alternativa que reconhece o papel da experiência, baseada inicialmente nos comportamentos exploratórios manipulativos próprios das espécies combinando objetos e superfícies, sugere que o que os indivíduos percebem, a partir dessa exploração, são as potencialidades ou disponibilidades (*affordances*) dos objetos e não as propriedades físicas em si mesmas. De forma que esse processo de detecção das potencialidades, associado a um processo de aprendizagem por tentativa e erro, seria o princípio chave que permite aos organismos interagir com seu ambiente, apoiando o uso flexível e seletivo de ferramentas, sem precisar de uma explicação representacional que exige compreensão da causalidade ou raciocínio inferencial.

A presente pesquisa se enquadra na linha de testar experimentalmente a seletividade dos indivíduos fornecendo conjuntos de ferramentas que variam em propriedades específicas de forma controlada. Porém nosso intuito não era oferecer uma resolução para a disputa tradicional entre perspectivas explicativas a partir dos nossos dados.

Nosso interesse surgiu das evidências encontradas sobre o surpreendente nível de seletividade dos itens envolvidos na quebra de frutos encapsulados, exibido por macacos-prego em ambiente natural (cf. Visalberghi & Addessi, 2013). Adicionando a

consideração de que, sendo a forma dos martelos uma propriedade que pode afetar a relação custo/benefício da quebra que não tem sido ainda estudada sistematicamente, o objetivo principal desta pesquisa foi avaliar o efeito das propriedades da forma dos martelos na tomada de decisões durante a escolha e uso de ferramentas de percussão em um grupo de indivíduos usuários de ferramentas e revisar nossos resultados à luz das previsões e descobertas anteriores sobre o nível de seletividade exibido em função de outras propriedades dos martelos.

Para determinar os efeitos da forma sobre a eficiência e seletividade na quebra de frutos encapsulados por macacos-prego, cinco sujeitos foram testados para escolher entre conjuntos de três pedras que variaram nas propriedades da forma que afetam a possibilidade de pegada do martelo ou superfície potencial de contato com o coco no golpe, em interação com as variáveis de peso e distância de transporte dos martelos, ao longo de oito condições experimentais. Foram registradas as frequências de escolha e mudança de escolha das pedras experimentais, número de golpes deferidos, cocos quebrados, deslocamentos do coco da bigorna (*fly-off*) e comportamentos manipulativos exploratórios com cada pedra experimental, também as medidas de eficiência e engajamento em condições não experimentais.

Nesta seção serão discutidos inicialmente os resultados obtidos da eficiência de quebra e preferência por cada tipo de pedra, a relação entre eficiência e preferência e a interação dos efeitos da forma com as variáveis de peso e distância de transporte sobre o nível de seletividade exibido pelos indivíduos. A seguir discutiremos os resultados da relação entre proficiência e engajamento natural com a preferência encontrada em condições experimentais. Finalmente, discutiremos os resultados obtidos dos comportamentos exploratórios manipulativos prévios à escolha.

De acordo com a previsão de Liu et al (2009), é provável que a eficiência na quebra seja dependente do controle da pedra e do ângulo de impacto sobre o fruto. Segundo as medidas de eficiência adotadas por Frigaszy et al (2010a), o golpe é a unidade básica de atividade que pode ser afetada pelos custos do uso de ferramentas, e a eficiência é definida em termos de número de cocos quebrados e ocorrências de deslocamento do coco para cada 100 golpes. No presente estudo pudemos corroborar a previsão de Liu e cols, já que tanto a pedra que fornece melhores possibilidades de pegada e controle (a pedra achatada) quanto a pedra que garante maiores possibilidades de contato no coco durante o impacto com a pedra (pedra plana), fornecem maior eficiência na quebra para todos os sujeitos em termos de mais cocos quebrados por cada

100 golpes e menos ocorrências de deslocamento do coco da bigorna durante o uso das pedras, quando comparadas com aquelas formas que fornecem umas possibilidades intermediárias e nulas de controle da pedra e contato com o coco no golpe.

Havendo encontrado diferenças na eficiência de quebra em função da forma das ferramentas e seguindo a afirmação de Visalberghi et al (2009a) de que é esperado que os indivíduos usuários de ferramentas sejam sensíveis às propriedades dos martelos que determinam a eficiência, selecionando as pedras antes do transporte e uso, aumentando assim os benefícios e diminuindo os custos. Considerando essas duas premissas, os resultados do presente estudo permitem corroborar que os macacos-prego são sensíveis às propriedades da forma das ferramentas que afetam a eficiência na quebra de frutos, exibindo viés de preferência por aquelas pedras mais fáceis de manipular (pedra achatada) e que garantem maior sucesso no impacto do coco (pedra plana); por tanto, através da escolha das pedras com formas específicas, aumentam os benefícios da quebra, reduzindo o número de golpes e o risco de deslocamento do coco.

Seria interessante desenvolver pesquisas futuras visando uma análise aprofundada dos aspectos cinemáticos e às consequências energéticas da quebra de cocos em relação às exigências da forma dos martelos, às características morfológicas e às características anatômicas do indivíduo, revelando as consequências específicas para o corpo do indivíduo usuário de ferramentas, de selecionar determinadas formas de martelos.

Em todas as condições experimentais, independentemente do peso e distância de transporte exigido dos martelos, todos os indivíduos escolheram significativamente mais vezes as pedras que fornecem maior eficiência (achatada e plana) do que o esperado pelo acaso. A exceção foi Nuli que exibiu uma tendência, mas não uma preferência significativa na condição de pedras com manipulação da possibilidade de pegada quando as pedras eram pesadas e dispostas perto da bigorna. Essa preferência se mantém quando analisadas as ocorrências de mudança de escolha, já que, quando isso ocorreu, em sua maioria, as pedras alvo da mudança foram àquelas pedras mais eficientes e preferidas (achatada e plana). Esses resultados são consistentes com as descobertas em condições experimentais fazendo uso de outros paradigmas, como recuperação de alimentos de tubos e superfícies com varetas e “varetas tipo cana” em que os indivíduos selecionaram as ferramentas de formas adequadas para ter sucesso na tarefa (cf. Cummins-Sebree & Frigaszy, 2005; Fujita et al., 2003; Fujita et al., 2011; Manrique et al., 2011; Sabbatini et al., 2012), contudo destacamos que nossos resultados

estão imersos num contexto de comportamento de uso de ferramentas que é encontrado na natureza.

Assim, nossos resultados permitem esboçar com maior detalhe as variáveis dos martelos que determinam a tomada de decisões no uso de ferramentas por macacos-prego, acrescentando as características da forma dos martelos que afetam a eficiência e a seletividade dos indivíduos durante a escolha dos martelos às descobertas do papel do material (Antinucci & Visalberghi, 1986; Spagnoletti et al. 2011; Visalberghi et al., 2009b) do peso (Falótico, 2006; Schrauf et al., 2008; Frigaszy et al., 2010a; Fragaszy et al., 2010b; Spagnoletti et al. 2011; Visalberghi et al., 2009a) e distância de transporte (Massaro et al, 2012; Oliveira, 2012).

É sabido que as variáveis do peso e distância de transporte afetam diferencialmente a eficiência e seletividade dos sujeitos em função de características físicas individuais (Massaro et al, 2012; Oliveira, 2012; Spagnoletti et al., 2011), assim, partindo dos nossos resultados será interessante explorar se a ordem de importância que os indivíduos conferem para cada uma dessas características, incluindo a forma dos martelos, corresponde-se com as contribuições relativas de cada característica sobre a eficiência conseguida com o uso da ferramenta. Ou seja, aqueles indivíduos para os quais os custos associados à forma das pedras são maiores do que os associados ao peso e distância, ajustam sua escolha diferencialmente em função dessas características da forma em detrimento de outras (i.e peso e distância)?

Especificamente, no contexto de quebra de frutos encapsulados por macacos-prego, nossos resultados fornecem apoio às descobertas recentes de Borgo et al (2013), em que demonstraram que macacos-prego em ambiente natural levam em conta uma característica relevante relacionada com a forma dos martelos, como a facilidade para lidar com a pedra, preferindo sistematicamente pedras lisas, ignorando características irrelevantes como a cor. No entanto, nosso estudo permitiu determinar que tanto a possibilidade de pegada (manipulada no estudo de Borgo et al, 2013) quanto a superfície potencial de contato com o coco (não controlada no estudo de Borgo et al, 2013), são características relevantes que afetam a eficiência da quebra de frutos encapsulados e são levadas em conta pelos macacos-prego ao escolherem as pedras antes de transportá-las e usá-las.

Massaro et al (2012) e Oliveira (2012) estudaram a interação entre esses fatores determinantes para a escolha de ferramentas na quebra de cocos por macacos-prego, encontrando que o peso e a distância das ferramentas afetam diferencialmente a tomada

de decisões nos indivíduos usuários de ferramentas para quebra de frutos encapsulados. Eles encontraram que para alguns indivíduos o peso é a principal variável determinante para realizar a escolha, enquanto que para outros, menores e mais fracos, a distância de transporte, quando exigida, representa um custo adicional e determina a seletividade. Portanto, na presente pesquisa, tentamos estabelecer o possível efeito das variáveis de custo, peso e distância de transporte dos martelos, sobre a preferência por formas específicas dos martelos. Assim, tendo encontrada preferência significativa por aquelas formas das pedras que permitem otimização do forrageio, analisamos como essa preferência é afetada quando manipuladas essas variáveis de custo. Encontramos que não há um efeito significativo, nem aumento nem diminuição da preferência, em função da inclusão das variáveis de custo, o que permite afirmar que independentemente do peso e distância de transporte exigida dos martelos, os indivíduos exibem o mesmo nível de seletividade, preferindo sempre a pedra achatada e plana em todas as condições.

Uma possível explicação desses resultados é que o nível de preferência foi significativo já nas condições em que os custos da tarefa foram menores, encontrando inclusive que nem mesmo nas condições de pedras longe da bigorna os sujeitos escolheram mais em função da sua proximidade com a pedra, impedindo assim encontrar diferenças significativas na preferência e mudança de escolha entre condições de baixo e alto custo. Futuras pesquisas avaliando esta interação podem ser propostas, assim, sabendo já que os macacos-prego preferem sistematicamente pedras que permitem maior facilidade de pegada e garantem maior probabilidade de atingir o coco na batida, seria possível delinear experimentos similares aos acima citados em que as pedras com diferentes características da forma, que fornecem maior e menor eficiência na quebra, sejam dispostas a diferentes distâncias ou com diferentes pesos (por exemplo, pedra achatada longe vs pedra cubo perto ou pedra plana leve vs pedra ondulada pesada), possibilitando testar se os indivíduos nestas condições ainda baseiam a escolha em função da forma dos martelos, ou, pelo contrário, corroboram as evidências disponíveis de que o peso e a distância de transporte são as variáveis determinantes na tomada de decisões dos macacos-prego ao escolherem entre as pedras para serem usadas na quebra de frutos encapsulados.

Por outro lado, mesmo tendo encontrado a preferência significativa por determinadas características da forma dos martelos, uma questão relevante a ser levantada, a partir da observação de eventos de escolha por pedras não preferidas, é se a

preferência exibida no nosso estudo é produto de um processo de aprendizagem por tentativa-e-erro ocorrido ao longo do experimento ou se os indivíduos reconheceram *a priori* as formas dos martelos como mais ou menos eficientes para serem usados na quebra de cocos. Uma análise tentativa por tentativa ainda não foi realizada para responder esta questão, no entanto, alguns dados obtidos podem fornecer informação parcial para abordar a pergunta.

Em primeira instância, quando analisamos a primeira escolha feita pelos macacos-prego, encontramos que de 25 tentativas iniciais de escolha (uma por sujeito em cada condição quando considerado dentro das análises) 20 foram para as pedras encontradas como preferidas, sendo Cupuaçu o indivíduo que mais vezes (3 de 6) escolheu na primeira tentativa a pedra não preferida. Esses resultados sugerem em alguma medida que os indivíduos exibiram já na primeira tentativa algum nível de preferência, porém, considerando que em todas as condições houve episódios de escolha das pedras não preferidas e todos os indivíduos escolheram pelo menos uma vez a pedra não preferida (e mesmo as totalmente ineficientes) e comparando esses resultados com os encontrados em pesquisas anteriores que apontam porcentagens de escolha para todos os sujeitos por cima de 90%, sendo a maioria 100% (Massaro et al, 2012; Visalberghi et al, 2009b), é impossível desconsiderar um processo de seleção por consequências ao longo do experimento como causal do nível final de preferência encontrado; como também, não é possível estabelecer se houve um processo de facilitação social através do mecanismo de realce de estímulo, ou seja, os indivíduos escolheram já na primeira vez a pedra preferida a partir da observação de outros indivíduos usando a mesma pedra e terem sido atraídos para essa pedra e usá-la.

Por outro lado, quando analisamos os eventos de escolha para cada tipo de pedra em relação à proximidade, encontramos que somente quando escolhidas as pedras menos preferidas (cubo e côncava) a escolha foi principalmente na posição mais próxima dos indivíduos, sugerindo duas possibilidades: 1) que quando escolhidas as pedras menos preferidas, não é a forma, mas sim a proximidade a variável que controla a seleção dos indivíduos, 2) poderia ser que no início do experimento a distribuição de escolhas esteja distribuída entre todas as alternativas, sendo controlada principalmente pela posição e não pela forma dos martelos, e na medida em que os indivíduos adquiriram experiência com cada tipo de pedra, a escolha passou a ser controlada pela forma dos martelos. Estas hipóteses estariam em favor de um processo de tentativa-e-erro ao longo do experimento e devem ser revisado a partir de análises tentativa por

tentativa. Porém, cabe ressaltar que a distribuição de escolhas com viés de preferência já na primeira tentativa poderia dar dicas sobre essa análise, já que se a preferência encontrada ocorreu exclusivamente a partir de um processo de seleção por consequências ocorrido ao longo do experimento, não seria esperado que os indivíduos escolhessem mais uma das pedras já na primeira tentativa.

O fato de ter encontrado episódios de escolha das pedras não preferidas e menos eficientes, deixa abertas outras perguntas, quando comparados os níveis de seletividade encontrados no presente estudo com outros estudos anteriores: será que as diferenças no nível de seletividade entre estudos decorrem da possibilidade de que a forma da ferramenta não seja tão relevante quanto o são o peso e a distância de transporte quando estas são as variáveis testadas na escolha? Questão que pode ser respondida através de arranjos experimentais que exijam do sujeito a escolha dentre uma forma preferida afastada e uma não preferida perto da bigorna. Ou por outra parte, será que os padrões de preferência, encontrados no presente estudo, não equivalentes a 100% para todos os indivíduos em todas as condições, como encontrado também por Frigaszy et al (2010a), são explicáveis a partir das distâncias empregadas? As distâncias empregadas são maiores naqueles estudos em que a porcentagem de escolha é muito próxima do 100%, 4 metros no estudo de Visalberghi et al (2009b) e entre 2 e 6 metros no estudo de Massaro et al (2012), enquanto que nossa distância máxima foi de 1,5m e a do estudo de Frigaszy et al (2010a) foi de 0,5m. Então, podemos hipotetizar que distâncias menores permitem uma frequência maior de escolhas “erradas”, já que o custo de uma escolha “errada” e a posterior mudança de escolha resultaria menos custoso. Há apoio parcial para esta hipótese a partir de frequências maiores de episódios de escolha das pedras não preferidas e mudanças de escolha, tanto no presente estudo quanto no experimento de Frigaszy et al (2010a) em comparação com os estudos de Massaro et al (2012) e Visalberghi et al (2009b). Neste ponto, futuras pesquisas empregando distâncias maiores às exigidas no presente estudo se fazem necessárias para responder a questão.

Independente da explicação dos eventos de escolha encontrados por pedras não preferidas e menos eficientes, o que é claro é que houve facilidade no uso e seletividade das pedras artificiais, provavelmente em função da similaridade das características das pedras experimentais preferidas com algumas características das pedras não experimentais, por exemplo, pedras cubo e pedras côncavas não fazem parte do leque de pedras normalmente usadas pelos indivíduos do grupo para quebra de cocos, somado à alta eficiência obtida com o uso das pedras preferidas e à observação do uso das

mesmas pedras pelos indivíduos do grupo. Essas hipóteses favorecem explicações baseadas na detecção das potencialidades da forma das pedras, desenvolvida a partir da experiência de uso com pedras naturais e experimentais (i.e. processo de tentativa-e-erro durante o experimento e Generalização de estímulos), permitindo aos indivíduos reconhecer as pedras com diferentes características da forma como ferramentas adequadas para seu uso na quebra de frutos encapsulados. Em detrimento, de explicações tradicionais que consideram o uso de ferramentas e a seletividade envolvida como uma prova da existência de compreensão de causalidade e raciocínio inferencial. Não é possível afirmar que a seletividade encontrada em função da forma dos martelos é produto de um novo nível de pensamento representativo, já que nem todos os sujeitos escolheram sempre as pedras mais eficientes desde a primeira tentativa, nem foi encontrada uma preferência absoluta ao longo do experimento sem experiência de quebra com formas menos eficientes.

Liu et al (2011) previram que diferenças individuais na ação e habilidade de uso de ferramentas são prováveis, e que esta variabilidade é uma rica fonte potencial de informação e não apenas ruído empírico e metodológico. Levando isso em consideração, foi possível reconhecer diferenças individuais tanto no nível de engajamento quanto nas medidas de proficiência em condições cotidianas (fazendo uso dos dados coletados na linha de base). Porém quando consideradas essas diferenças em relação às diferenças entre indivíduos na preferência em condições experimentais, encontramos que não houve uma relação entre essas variáveis.

Se considerarmos a medida de engajamento como preditora do nível de preferência experimental, seria esperado que Sagu, sendo o menos participativo na linha de base, reportasse níveis menores de preferências nas condições experimentais. Esse resultado não foi obtido e isso foi inesperado se enfocarmos nas medidas de proficiência na linha de base, já que o mesmo indivíduo Sagu é o mais proficiente (mais cocos quebrados e menos fly-off por cada 100 golpes).

Entretanto, se assumirmos as medidas de proficiência na linha de base como preditoras da preferência em condições experimentais, seria esperado que o Sagu reportasse os níveis mais altos de seletividade em todas as condições experimentais, resultado que tão pouco foi obtido. O caso do Sagu representa claramente os resultados obtidos no estudo: em primeira instância, não necessariamente aqueles sujeitos mais ativos ou mais proficientes na quebra, durante a linha de base, são os mais seletivos.

Nenhuma das medidas da linha de base se relaciona diretamente com o nível de preferência exibido pelos macacos-prego nas condições experimentais. Estes resultados podem decorrer do fato que mesmo os indivíduos menos proficientes na linha de base exibem uma preferência dentre 60 e 100% pelas pedras achatada e plana, assim apesar de ter encontrado variabilidade nas medidas de quebra cotidiana, principalmente nas medidas de proficiência, não foi encontrada ampla variabilidade na seletividade exibida nas condições experimentais, encontrando o mesmo tanto de escolhas preferidas e não preferidas entre os sujeitos independentemente da proficiência adquirida antes da experiência com as pedras artificiais.

Portanto, no presente estudo não foi possível reconhecer como as diferenças individuais em condições não experimentais são refletidas em posteriores diferenças individuais na seletividade em condições experimentais. Sugerindo que no nosso estudo todos os indivíduos são igualmente hábeis na detecção das potencialidades da forma das ferramentas. Para desvendar com mais detalhe esta questão, será preciso realizar experimentos similares com um número maior de indivíduos que estejam distribuídos em um leque mais amplo de variabilidade, tanto em termos de proficiência e engajamento quanto em faixas etárias e experiência de quebra. Com o fim de estabelecer relações do nível de preferência com estas possíveis variáveis preditoras.

Por outro lado, tendo encontrado que, no geral, os macacos-prego participantes do presente estudo são sensíveis às potencialidades da forma das ferramentas, nos deparamos com uma das questões mais relevantes para a abordagem da percepção-ação: como os indivíduos detectam as potencialidades dos objetos para orientar a seleção, percebendo visualmente as características importantes dos objetos e/ou buscando ativamente informações adicionais das propriedades dos objetos, não disponíveis através da inspeção visual (Cummins-Sebree & Frigaszy, 2005).

Nossos resultados sobre atividade manipulativa prévia à escolha das pedras demonstram que os indivíduos realizaram ações exploratórias prévias à escolha em 23,88% das tentativas de escolha, enquanto que, no restante, 76,11% os indivíduos escolheram a pedra sem manipulá-la ou sem ter manipulado outra antes, distribuição semelhante foi encontrada para cada tipo de pedra. Sugerindo que os indivíduos, no nosso estudo, guiam a escolha principalmente através da inspeção visual.

No entanto, quando comparados com os dados anteriores de Frigaszy et al (2010a), em que reportaram uma porcentagem de 64% de ações exploratórias prévias à escolha nas condições em que o peso das pedras não era possível de ser determinado através da percepção visual, poder-ia-se afirmar que, quando submetidos à escolha entre martelos com diferentes formas, os macacos-prego ganharam informação adicional sobre as características das pedras, pegando, virando e batendo com as pontas dos dedos sobre elas, antes de realizar a escolha.

Finalmente, a partir da revisão da literatura e dos resultados do presente estudo, podemos concluir que os macacos-prego são amplamente seletivos ao escolherem as ferramentas para serem usadas, exibindo especial sensibilidade às características funcionais (e.g. material e peso) e relevantes (e.g. forma) das ferramentas que determinam o sucesso e eficiência no uso de ferramentas de percussão para quebra de frutos encapsulados. Porém, como afirmam Frigaszy et al (2013), sabemos pouco sobre como os indivíduos usuários de ferramentas determinam as propriedades relevantes dos objetos para orientar a seleção, nem como eles são sensíveis às propriedades particulares que afetam a eficiência.

As evidências em geral tornam difícil sustentar que os indivíduos possuem compreensão de causalidade, já que houve episódios de escolha das pedras menos eficientes ou ineficientes para todos os sujeitos. Porém, também parece difícil argumentar que a seletividade encontrada no nosso estudo, surge a partir de tentativas arbitrárias de escolha e aprendizagem por tentativa-e-erro, já que os sujeitos não iniciaram selecionando aleatoriamente entre as pedras, e reconheceram rapidamente as pedras artificiais como martelos potenciais de uso.

Explicações a partir de fenômenos como generalização de estímulos, generalização funcional e *learning set*, são bastante plausíveis para das habilidades exibidas por macacos-prego no uso de ferramentas (cf. Delage, 2011, Delage & Galvão, 2010; Delage, 2006). Por outro lado, as considerações da perspectiva ecológica sobre o processo de detecção de potencialidades, como propriedades emergentes de um sistema animal-ambiente, permitem acrescentar, no papel das experiências manipulativas com objetos e superfícies - não relacionadas exclusivamente a uma história de seleção por consequências - e nos fatores estruturais do ambiente (i.e nicho ecológico) e dos indivíduos, como limitantes e condutores das potencialidades de ação, outros fatores

determinantes do desenvolvimento de futuras formas de uso de determinados objetos na resolução de problemas (cf. Lockman, 2000; Cummins-Sebree & Frigaszy, 2005; Taylor, Knaebe & Gray, 2012).

Ambas as perspectivas descansam num pressuposto filosófico comum: escapando das tradicionais formas dualistas de conceber a realidade psicológica, e compartilham a consideração do papel fundamental da história prévia do indivíduo no surgimento do uso das ferramentas e o nível de seletividade envolvido.

Somente através de cuidadosos estudos comparativos longitudinais poderá ser fornecido um panorama melhor para resolver a adequação de cada uma das perspectivas (e.g. Resende et al., 2008; Takeshita et al, 2005), detalhando o processo de desenvolvimento manipulativo exploratório e posterior emergência do uso de ferramentas e seletividade, os fatores determinantes que limitam e conduzem esse processo e o tipo de experiência crucial que dá lugar à posterior resolução de problemas com o uso de ferramentas.

Estudos como o presente somente permitem determinar aquelas propriedades dos objetos que influenciam a tomada de decisões dos indivíduos usuários de ferramentas. Na presente pesquisa, concluímos que a forma dos martelos é uma dimensão de estímulo que afeta a eficiência e seletividade no comportamento de quebra de frutos encapsulados por macacos-prego, sendo uma propriedade claramente mais importante do que outras dimensões (e.g a cor ou proximidade).

A preferência por determinadas características das propriedades dos objetos, pode decorrer de um viés de alguns organismos para aprender sobre certos tipos de informação, que são relevantes em determinadas situações, mais do que outros. Por exemplo, num estudo recente (Corat, 2013), foi encontrado que os macacos-prego apresentam um padrão organizativo sequencial bem definido do uso de ferramentas para quebra de cocos, sendo esse padrão o mais eficiente em termos de custos do comportamento de quebra de cocos. Porém, quando testou se os indivíduos aprendiam associar padrões gráficos diferentes com os elementos da sequência (um padrão para o coco, outro para o martelo e outro para a bigorna), de forma que a única informação disponível eram esses padrões gráficos para executar a sequência, encontraram que os indivíduos não conseguiram executar a sequência corretamente. De forma similar, no estudo de Borgo et al (2013), apresentaram inicialmente duas pedras com diferente

forma e cor durante 10 tentativas e posteriormente inverteram as cores das pedras, encontrando que os macacos-prego atenderam à característica da forma e não da cor dos martelos, tendo sido as duas dimensões do estímulo pedra perfeitamente associadas durante a primeira fase às mesmas consequências.

Esses resultados sugerem que a sensibilidade da seletividade para determinados tipos de informação não decorre exclusivamente de um processo de seleção por consequências, já que tanto no estudo de Corat (2013), na etapa em que foram incluídos os padrões gráficos os sujeitos não adquiriram uma associação entre os elementos discriminativos e os itens envolvidos, quanto no estudo de Borgo et al (2013), os indivíduos não atenderam a essas dicas visuais arbitrárias que normalmente não fazem parte do conjunto de dimensões estimulares que fornecem um *feedback* perceptual adequado para a tomada de decisões no uso de ferramentas. Esses resultados permitem corroborar a afirmação de Penn & Povinelli (2007) de que os indivíduos possuem enviesamentos de domínio específico, em relação às características dos objetos que são relevantes em certas situações, em vez de uma subjacente compreensão de causalidade.

Referências

- Antinucci, F. & Visalberghi, E. 1986. Tool use in *Cebus apella*: A case study. *Int. J. Primatol.* 7 (4): 351–363.
- Barrett, L. (2011). *Beyond the brain: How body and environment shape animal and human minds*. Princeton University Press.
- Bentley-Condit, V. K., & Smith, E. O. (2010). Animal tool use: current definitions and an updated comprehensive catalog. *Behaviour*, 147(2), 185.
- Bird, C. D., & Emery, N. J. (2009). Insightful problem solving and creative tool modification by captive nontool-using rooks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10370-10375.
- Biro, D., Haslam, M., & Rutz, C. (2013). Tool use as adaptation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1630), 20120408.
- Bluff, L. A., Troscianko, J., Weir, A. A., Kacelnik, A., & Rutz, C. (2010). Tool use by wild New Caledonian crows *Corvus moneduloides* at natural foraging sites. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1686), 1377-1385.
- Bluff, L. A., Weir, A. A., Rutz, C., Wimpenny, J. H., & Kacelnik, A. (2007). Tool-related cognition in New Caledonian crows. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 2, 1-25.
- Boesch, C. (2013). Ecology and cognition of tool use in chimpanzees. *Tool use in animals: cognition and ecology*, 22-47.
- Boesch, C., & Boesch, H. (1982). Optimization of nut-cracking with natural hammers by wild chimpanzees. *Behaviour*, 265-286.
- Boesch, C., & Boesch, H. (1990). Tool use and tool making in wild chimpanzees. *Folia primatologica*, 54(1-2), 86-99.
- Boesch, C., & Tomasello, M. (1998). Chimpanzee and human cultures. *Current Anthropology*, 39(5), 591-614.
- Borgo, S., Spagnoletti, N., Vieu, L. & Visalberghi, E. (2013). Artifact and Artifact Categorization: Comparing Humans and Capuchin Monkeys. *Rev.Phil.Psych.* 4:375–389

- Bril, B. Dietrich, G. Foucart, J. Fuwa, K. & Hirata, S. (2009) Tool use as a way to assess cognition: how do captive chimpanzees handle the weight of the hammer when cracking a nut? *Animal Cognition* 12: 217–235.
- Byrne, R. W. (2004). The Manual Skills and Cognition That Lie behind Hominid Tool Use. In *The Evolution of Thought: Evolutionary Origins of Great Ape Intelligence*, ed. A. E. Russon and D. R. Begun, 31–44. Cambridge University Press, Cambridge.
- Call, J. (2004). Inferences About the Location of Food in the Great Apes (*Pan paniscus*, *Pan troglodytes*, *Gorilla gorilla*, and *Pongo pygmaeus*). *Journal of Comparative Psychology*, 118(2), 232-241.
- Call, J. (2007). Apes know that hidden objects can affect the orientation of other objects. *Cognition*, 105(1), 1-25.
- Call, J. (2013). Three ingredients for becoming a creative tool user. In *Tool use in animals: cognition and ecology* (pp. 3-20). Cambridge Univ. Princeton.
- Campbell, N. & Reece, J. (2005). *Biologia 7a edição*, AP. San Francisco, CA: Pearson Education Inc.
- Chappell, J., & Kacelnik, A. (2002). Tool selectivity in a non-primate, the New Caledonian crow (*Corvus moneduloides*). *Animal cognition*, 5(2), 71-78.
- Chappell, J. & Kacelnik, A. (2004). Selection of tool diameter by New Caledonian crows *Corvus moneduloides*. *Animal cognition*. 7; 121–127.
- Corat, C. D. S. (2013). *Organização sequencial e otimização do comportamento na quebra de frutos encapsulados por macacos-prego (Sapajus sp.) em semi-liberdade*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Psicologia Experimental, Universidade de São Paulo.
- Cummins-Sebree. S. & Frigaszy, D. (2005) Choosing and using tools: capuchins (*Cebus apella*) use a different metric than tamarins (*Saguinus Oedipus*). *J Comp Psychol* 119:210–219
- de Waal, F., & Ferrari, P. (2010). Towards a bottom-up perspective on animal and human cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 201-207.
- Delage, P. E. G. A. (2006). *Investigações sobre o papel da generalização funcional em uma situação de resolução súbita de problemas (insight) em Rattus norvegicus*.

Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.

Delage, P. E. G. A. (2011). *Transferência de aprendizagem no uso de ferramentas por macacos-prego (Cebus cf. apella)*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.

Delage, P. E. G. A., & Galvão, O. D. F. (2010). Generalidade da aprendizagem em situações de uso de ferramentas por um macaco-prego, *Cebus Apella*. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 26(4), 687-694.

Dickinson, A. (2001). Causal learning: Association versus computation. *Current Directions in Psychological Science*, 10(4), 127-132.

Emery, N. J. (2013). Insight, imagination and invention: Tool understanding in corvid. *In Tool Use in Animals: Cognition and Ecology*, 67.

Emery, N. J., & Clayton, N. S. (2004). The mentality of crows: convergent evolution of intelligence in corvids and apes. *science*, 306(5703), 1903-1907.

Epstein, R. (1996). *Cognition, creativity, and behavior: Selected essays* (pp. 13-35). Westport, CT: Praeger.

Epstein, R., Kirshnit, C. E., & Lanza, R. P. & Rubins, L.C. (1984). "Insight" in the pigeon: Antecedents and determinants of an intelligent performance. *Nature*, 308, 61-62.

Epstein, R. (1982). Representation: A concept that fills no gaps. *Behavioral and Brain Sciences*, 5(03), 377-378.

Falótico, T. (2006). *Estudo experimental do uso de ferramentas para quebra de frutos encapsulados por macacos-prego (Cebus apella) em semi-liberdade*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Psicologia Experimental, Universidade de São Paulo.

Falótico, T. (2011). *Uso de ferramentas por macacos-prego (Sapajus libidinosus) do Parque Nacional Serra da Capivara-PI*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Psicologia Experimental, Universidade de São Paulo.

- Ferreira, R. Almeida, R. & Jerusalinsky, L. (2010). Three Stones for Three Seeds: Natural Occurrence of Selective Tool Use by Capuchins (*Cebus libidinosus*) Based on an Analysis of the Weight of Stones Found at Nutting Sites. *American Journal of Primatology* 72:270–275.
- Fragaszy DM, Greenberg R, Visalberghi E, Ottoni EB, Izar P, Liu Q (2010a) How wild bearded capuchin monkeys select stones and nuts to minimize the number of strikes per nut cracked. *Anim Behav* 80:205–214
- Fragaszy, D, Pickering T, Liu Q, Izar P, Ottoni E & Visalberghi E. (2010b) Bearded capuchin monkeys' and a human's efficiency at cracking palm nuts with stone tools: field experiments. *Anim Behav* 79:321–332.
- Fragaszy, D. M., Izar, P., Visalberghi, E., Ottoni, E. B. & de Oliveira, M. G. (2004) Wild capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) use anvils and stone pounding tools. *American Journal of Primatology*, 64, 359-366.
- Fragaszy, D. M., Liu, Q., Wright, B. W., Allen, A., Brown, C. W., & Visalberghi, E. (2013). Wild bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) strategically place nuts in a stable position during nut-cracking. *PloS one*, 8(2), e56182.
- Fragaszy, D.M. (2007). Relational Spatial Reasoning and Tool Use in Capuchin Monkeys. *A Primatologia no Brasil* 10, 521-546.
- Fragaszy, D.M., & Cummins-Sebree, S. (2005). Relational spatial reasoning by a nonhuman: the example of capuchin monkeys. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 4 (4), 282–306.
- Fujita K, Sato Y, Kuroshima H (2011) Learning and generalization of tool use by tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*) in tasks involving three factors: reward, tool, and hindrance. *J Exp Psychol Anim Behav Process* 37:10–19
- Fujita, K ; Tsutsumi, S ; Morimoto, Y ; Coelho, C; Falótico, T. & Ottoni, E.B. Substrate choice in nut-cracking behavior of semi-wild tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*). In: XXX International Ethological Conference, 2007, Halifax. Abstracts of the XXX International Ethological Conference, 2007. v. 30. p. 187-187.
- Fujita, K., Kuroshima, H., & Asai, S. (2003). How Do Tufted Capuchin Monkeys (*Cebus apella*) Understand Causality Involved in Tool Use?. *Animal Behavior*, 29(3), 233-242.

- Gibson, E., & Pick, A. (2000). *An ecological approach to perceptual learning and development* Oxford: Oxford University Press.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston, Houghton Mifflin.
- Goldenberg, G. (2011). Effects of brain damage on human tool use. In: McCormack, T., C. Hoerl, C. & Butterfill, S. (eds.) *Tool Use and Causal Cognition*. Oxford University Press.
- Greif, M. & Needham, A. (2011) The development of human tool use early in life. In: McCormack, T., C. Hoerl, C. & Butterfill, S. (eds.) *Tool Use and Causal Cognition*. Oxford University Press.
- Gumert, M. D., & Malaivijitnond, S. (2012). Marine prey processed with stone tools by burmese long-tailed macaques (*Macaca fascicularis aurea*) in intertidal habitats. *American Journal of Physical Anthropology*, 149(3), 447-457.
- Gumert, M. D., & Malaivijitnond, S. (2013). Long-tailed macaques select mass of stone tools according to food type. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1630), 20120413.
- Hansell, M., & Ruxton, G. D. (2008). Setting tool use within the context of animal construction behaviour. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2), 73-78.
- Hunt, G. R. (1996). Manufacture and use of hook-tools by New Caledonian crows. *Nature*, 379(6562), 249-251. doi:10.1038/379249a0
- Hunt, G. R., & Gray, R. D. (2002). Species-wide manufacture of stick-type tools by New Caledonian crows. *Emu*, 102(4), 349-353.
- Hunt, G. R., Gray, R. D., & Taylor, A. H. (2013). Why is tool use rare in animals?. *Tool use in animals: cognition and ecology*, 89.
- Kacelnik, A., Chappell, J., Weir, A. A. S., & Kenward, B. (2006). Cognitive adaptations for tool-related behaviour in New Caledonian crows. *Comparative cognition: experimental explorations of animal intelligence*, 515-528. Chappell, J. (2006). Avian cognition: understanding tool use. *Current Biology*, 16(7), R244-R245.
- Kacelnik, A. (2009). Tools for thought or thoughts for tools?. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10071-10072.

- Köhler, W. (1957). *The Mentality of Apes*. [Trad. Ella Winter]. Mitchan: Penguin Books. Publicado originalmente em 1917.
- Limongelli, L., Boysen, S. T., & Visalberghi, E. (1995). Comprehension of cause-effect relations in a tool-using task by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *J Comp Psychol*, 109(1), 18-26.
- Liu, Q., Frigaszy, D., Wright, B., Wright, K., Izar, P. & Visalberghi, E. (2011) Wild bearded capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) place nuts in anvils selectively. *Anim Behav* 81:297–305
- Liu, Q., Simpson, K., Izar P., Ottoni, E., Visalberghi, E., Fragaszy, D. (2009) Kinematics and energetics of nut-cracking in wild capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) in Piauí, Brazil. *Am J Phys Anthropol* 138:210–220.
- Lockman, J. (2000). A perception–action perspective on tool use development. *Child Development*, 71, 137–144.
- Malaivijitnond, S., Lekprayoon, C., Tandavanittj, N., Panha, S., Cheewatham, C., & Hamada, Y. (2007). Stone-tool usage by Thai long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*). *American Journal of Primatology*, 69(2), 227-233.
- Mann, J., & Patterson, E. M. (2013). Tool use by aquatic animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1630), 20120424.
- Mann, J., Sargeant, B. L., Watson-Capps, J. J., Gibson, Q. A., Heithaus, M. R., Connor, R. C., & Patterson, E. (2008). Why do dolphins carry sponges?. *PLoS One*, 3(12), e3868.
- Mannu, M., & Ottoni, E. B. (2009). The enhanced tool-kit of two groups of wild bearded capuchin monkeys in the Caatinga: tool making, associative use, and secondary tools. *American Journal of Primatology*, 71(3), 242-251.
- Manrique, H. M., Gross, A. N. M., & Call, J. (2010). Great apes select tools on the basis of their rigidity. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 36(4), 409.
- Manrique, H. Sabbatini, G., Call, J. & Visalberghi, E. (2011). Tool choice on the basis of rigidity in capuchin monkeys. *Animal Cognition*. v.14, p. 775–786.
- Maravita, A., & Iriki, A. (2004). Tools for the body (schema). *Trends in cognitive sciences*, 8(2), 79-86.

- Maravita, A., Spence, C., Kennett, S., & Driver, J. (2002). Tool-use changes multimodal spatial interactions between vision and touch in normal humans. *Cognition*, 83(2), B25-B34.
- Massaro, L. Liu, L. Visalberghi, E. & Frigaszy, D. (2012) Wild bearded capuchin select tools on the basis of mass and distance. *Animal Cognition* 15, 6: 1065-1074
- McCormack, T., Hoerl, C. & Butterfill, S. (2011) Tool Use and Causal Cognition: An Introduction. In: McCormack, T., C. Hoerl, C. & Butterfill, S. (eds.) Tool Use and Causal Cognition. Oxford University Press.
- McGrew, W. C. (2004). *The cultured chimpanzee: reflections on cultural primatology*. Cambridge University Press.
- McGrew, W. C. (2010). Chimpanzee technology. *Science*, 328(5978), 579-580. doi:10.1126/science.1187921
- McGrew, W. C. (2013). Is primate tool use special? Chimpanzee and New Caledonian crow compared. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1630), 20120422.
- Mendes, N., Hanus, D., & Call, J. (2007). Raising the level: orangutans use water as a tool. *Biology letters*, 3(5), 453-455.
- Meulman, E. J. M., Seed, A. M., & Mann, J. (2013). If at first you don't succeed... Studies of ontogeny shed light on the cognitive demands of habitual tool use. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1630), 20130050.
- Meulman, E. J., & van Schaik, C. P. (2013). Orangutan tool use and the evolution of technology. In: *Tool use in animals: cognition and ecology*, 176-202. Chicago.
- Moura, A. C. A. & Lee, P. C. (2004) Capuchin stone tool use in caatinga dry forest. *Science*, 306.
- Mulcahy, N. J., & Call, J. (2006). Apes save tools for future use. *Science*, 312(5776), 1038-1040.
- Nahallage, C. A., & Huffman, M. A. (2008). Comparison of stone handling behavior in two macaque species: implications for the role of phylogeny and environment in primate cultural variation. *American Journal of Primatology*, 70(12), 1124-1132.

- Oliveira, B. (2012). *Escolha e transporte de ferramentas para a quebra de cocos por macacos-prego (Sapajus sp) em semi liberdade: manipulação experimental dos custos da distância dos martelos"às bigornas"e da eficiência da ferramenta*. Dissertação (Mestrado em Psicologia Experimental) - Universidade de São Paulo.
- Osiurak, F., Jarry, C., & Le Gall, D. (2010). Grasping the affordances, understanding the reasoning: toward a dialectical theory of human tool use. *Psychological review*, 117(2), 517.
- Otoni, E. B. & Mannu, M. (2001). Semifree-ranging tufted capuchins (*Cebus apella*) spontaneously use tools to crack open nuts. *International Journal of Primatology*, 22, 347-358.
- Otoni, E. B., & Izar, P. (2008). Capuchin monkey tool use: overview and implications. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 17(4), 171-178.
- Penn, D. C., & Povinelli, D. J. (2007). Causal cognition in human and nonhuman animals: A comparative, critical review. *Annu. Rev. Psychol.*, 58, 97-118.
- Penn, D. C., Holyoak, K. J., & Povinelli, D. J. (2008). Darwin's mistake: Explaining the discontinuity between human and nonhuman minds. *Behavioral and Brain Sciences*, 31(02), 109-130.
- Pouydebat, E. Gorce, P. Bels, V. & Coppens, Y. (2006) Substrate optimization in nut cracking by capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Am J Primatol* 68:1017–1024
- Povinelli, D.J. (2000). *Folk Physics for Apes: The Chimpanzee's Theory of How the World Works* (New York: Oxford).
- Resende, B. D. (2010). Influência social na solução de problemas: uma revisão a partir da psicologia comparada. *Temas em Psicologia*, 18(2), 481-490.
- Resende, B. D.; Ballesteros-Ardila, A.D. Contexts of learning and development: opportunities for learning how to crack nuts using tools in semicaptive tufted capuchin monkeys (*Sapajus sp.*). In: *26th Annual Human Behavior and evolution Society Conference, 2014, Natal*. Abstracts 26th Human Behavior and Evolution Society Behavior, 2014

- Resende, B. D., Ottoni, E. B. & Frigaszy, D. M. (2008). Ontogeny of manipulative behavior and nutcracking in young capuchin monkeys (*Cebus apella* spp.): A Perception-action perspective. *Developmental Science*, v. 11, p. 812-824.
- Resende, B.D. & Izar, P. (2011) Cognição animal. *Em: Yamamoto, M. & Volpalto, G. (eds.) Comportamento animal. 2ª Edição.* Natal: EDUFRN.
- Resende, B.D. (2004) *Ontogenia de comportamentos manipulativos em um grupo de macacos-prego (Cebus apella) em situação de semi-liberdade.* Tese de doutoramento não-publicada. Universidade de São Paulo.
- Ruiz, A. M. & Santos, L. R. (2013). Understanding differences in the way human and non-human primates represent tools: The role of teleological-intentional information. *In Tool Use in Animals: Cognition and Ecology*, 119.
- Rutz, C., & St Clair, J. J. (2012). The evolutionary origins and ecological context of tool use in New Caledonian crows. *Behavioural processes*, 89(2), 153-165. doi:10.1016/j.beproc.2011.11.005.
- Sabbatini, G. Truppa, V. Hribar, A. Gambetta, B. Call, J. & Visalberghi, E. (2012) Understanding the functional properties of tools: chimpanzees (*Pan troglodytes*) and capuchinmonkeys (*Cebus apella*) attend to tool features differently. *Animal Cognition*. 15:577–590.
- Sanz, C. M., & Morgan, D. B. (2013). 8 The social context of chimpanzee tooluse. *Tool use in animals: cognition and ecology*, 161.
- Sanz, C. M., Schöning, C., & Morgan, D. B. (2010). Chimpanzees prey on army ants with specialized tool set. *American Journal of Primatology*, 72(1), 17-24.
- Sargeant, B. L., & Mann, J. (2009). Developmental evidence for foraging traditions in wild bottlenose dolphins. *Animal Behaviour*, 78(3), 715-721. doi:10.1016/j.anbehav.
- Schrauf, C. Huber, L. & Visalberghi, E. (2008) Do capuchin monkeys use weight to select hammer tools? *Animal Cognition* 11:413-422
- Schrauf, C., Call, J., Fuwa, K., & Hirata, S. (2012). Do chimpanzees use weight to select hammer tools?. *PloS one*, 7(7), e41044.
- Seed, A. M., & Boogert, N. J. (2013). Animal cognition: an end to insight?. *Current Biology*, 23(2), R67-R69.

- Seed, A. M., Call, J., Emery, N. J., & Clayton, N. S. (2009). Chimpanzees solve the trap problem when the confound of tool-use is removed. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 35(1), 23.
- Seed, A. M., Tebbich, S., Emery, N. J., & Clayton, N. S. (2006). Investigating physical cognition in rooks, *Corvus frugilegus*. *Current biology: CB*, 16(7), 697-701.
- Seed, A., & Byrne, R. (2010). Animal tool-use. *Current biology*, 20(23), R1032-R1039.
- Seed, A., & Tomasello, M. (2010). Primate cognition. *Topics in Cognitive Science*, 2(3), 407-419.
- Seed, A., Emery, N., Clayton, N. S. (2009) Intelligence in corvids and apes: a case of convergent evolution. *Ethology* 115, 401–420. doi:10.1111/j.1439-0310.
- Shettleworth, S. J. (2010). Clever animals and killjoy explanations in comparative psychology. *Trends in cognitive sciences*, 14(11), 477-481.
- Shumaker, R. W., Walkup, K. R., & Beck, B. B. (2011). *Animal tool behavior: the use and manufacture of tools by animals*. JHU Press.
- Spagnoletti, N., Visalberghi, E., Ottoni, E., Izar, P. & Frigaszy, D. (2011) Stone tool use by adult wild bearded capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*). Frequency, efficiency and tool selectivity. *Journal of Human Evolution* 61, 97-107.
- St Amant, R., & Horton, T. E. (2008). Revisiting the definition of animal tool use. *Animal Behaviour*, 75(4), 1199-1208.
- St Clair, J. J., & Rutz, C. (2013). New Caledonian crows attend to multiple functional properties of complex tools. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1630), 20120415. doi:10.1098/rstb.2012.0415
- Stephens, D & Krebs, J. (1986) Foraging theory. Princeton University Press, Princeton
- Takeshita, H., Fragaszy, D., Mizuno, Y., Matsuzawa, T., Tomonaga, M., & Tanaka, M. (2005). Exploring by doing: how young chimpanzees discover surfaces through actions with objects. *Infant Behavior and Development*, 28(3), 316-328.
- Taylor, A. H., Knaebe, B., & Gray, R. D. (2012). An end to insight? New Caledonian crows can spontaneously solve problems without planning their actions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1749), 4977-4981.

- Taylor, A. H., Knaebe, B., & Gray, R. D. (2012). An end to insight? New Caledonian crows can spontaneously solve problems without planning their actions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1749), 4977-4981.
- Tebbich, S., Seed, A. M., Emery, N. J., & Clayton, N. S. (2007). Non-tool-using rooks, *Corvus frugilegus*, solve the trap-tube problem. *Animal cognition*, 10 (2), 225-231.
- Teschke, I., Wascher, C. A. F., Scriba, M. F., von Bayern, A. M. P., Huml, V., Siemers, B., & Tebbich, S. (2013). Did tool-use evolve with enhanced physical cognitive abilities?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1630), 20120418.
- Tomasello, M. (1998). Uniquely primate, uniquely human. *Developmental Science*, 1(1), 1-16.
- Tomasello, M. & Call, J. (1997). Primate cognition. Oxford University Press, New York, ix+517 pp
- Visalberghi, E; Addessi, E; Truppa, V; Spagnoletti, N; Ottoni, E; Izar, P. & Frigaszy, D. (2009). Selection of Effective Stone Tools by Wild Bearded Capuchin Monkeys. *Current Biology*, v. 19, p. 213-217.
- Tooby, J. & DeVore, I. (1987) The Reconstruction of Hominid Behavioral Evolution Through Strategic Modeling. In: The Evolution of Human Behavior: Primate Models, (Ed.) Warren G. Kinzey, SUNY Press, Albany, NY.
- Van Schaik, C. P., Ancrenaz, M., Borgen, G., Galdikas, B., Knott, C. D., Singleton, I., Suzuki, A., Utami, S. C., & Merrill, M. (2003). Orangutan cultures and the evolution of material culture. *Science*, 299 (5603), 102-105.
- van Schaik, C. P., Deaner, R. O., & Merrill, M. Y. (1999). The conditions for tool use in primates: implications for the evolution of material culture. *Journal of Human Evolution*, 36(6), 719-741.
- Visalberghi, E. & Limongelli, L. (1994). Lack of comprehension of cause-effect relations in tool-using capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, 108(1): 15-22.
- Visalberghi, E. & Tomasello, M. (1998). Primate causal understanding in the physical and psychological domains. *Behavioural Processes*, 42; 189–203.

- Visalberghi, E. & Trinca, L. (1989). Tool use in capuchin monkeys: distinguishing between performing and understanding. *Primates*, 30(4): 511-521.
- Visalberghi, E., & Addessi, E. (2013). Selectivity in Stone Tool Use by Wild Bearded Capuchin Monkeys—Field Observations and Experimental Evidence. *Quo Vadis, Behavioural Biology? Past, Present, and Future of an Evolving Science*, 111(380), 191-204.
- Visalberghi, E., & Néel, C. (2003). Tufted capuchins (*Cebus apella*) use weight and sound to choose between full and empty nuts. *Ecological Psychology*, 15(3), 215-228.
- Visalberghi, E., Frigaszy, D. M., & Savage-Rumbaugh, S. (1995). Performance in a tool-using task by common chimpanzees (*Pan troglodytes*), bonobos (*Pan paniscus*), an orangutan (*Pongo pygmaeus*), and capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Journal of comparative psychology (Washington, DC: 1983)*, 109(1), 52-60.
- Visalberghi, E., Frigaszy, D., Ottoni, E., Izar, P., De Oliveira, M. G. & Andrade, F. R. D. (2007). Characteristics of hammer stones and anvils used by wild bearded capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) to crack open palm nuts. *American Journal of Physical Anthropology*, 132, 426-444.
- Visalberghi, E., Spagnoletti, N., da Silva, E. D. R., Andrade, F. R., Ottoni, E., Izar, P., & Frigaszy, D. (2009a). Distribution of potential suitable hammers and transport of hammer tools and nuts by wild capuchin monkeys. *Primates*, 50(2), 95-104.
- Visalberghi, E.; Sabbatini, G.; Spagnoletti, N.; Andrade, F.R.D.; Ottoni, E.; Izar, P.; Frigaszy, D. (2008). Physical properties of palm fruits processed with tools by wild bearded capuchins (*Cebus libidinosus*). *American Journal of Primatology* vol. 70 issue 9, p. 884 – 891.
- Visalberghi, E; Addessi, E; Truppa, V; Spagnoletti, N; Ottoni, E; Izar, P. & Frigaszy, D. (2009b). Selection of Effective Stone Tools by Wild Bearded Capuchin Monkeys. *Current Biology*, v. 19, p. 213-217.
- Westergaard, G.C. & Frigaszy, D.M. (1987). The manufacture and use of tools by capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, 101(2): 159-168.

Whiten, A., & Boesch, C. (2001). The cultures of chimpanzees. *Scientific American*, 61-67.

Whiten, A., Goodall, J., McGrew, W. C., Nishida, T., Reynolds, V., Sugiyama, Y., Tutin, C.E.G., Wrangham, R.W. & Boesch, C. (2001). Charting cultural variation in chimpanzees. *Behaviour*, 138(11-12), 1481.

Whiten, A., Goodall, J., McGrew, W. C., Nishida, T., Reynolds, V., Sugiyama, Y., Tutin, C.E.G., Wrangham, R.W & Boesch, C. (1999). Cultures in chimpanzees. *Nature*, 399(6737), 682-685.