



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ricardo Fernando Marques da Silva

AS AVES APRENDEM COM AS OUTRAS?
UM TESTE EM MILHEIRINHAS (*SERINUS SERINUS*)
SOBRE A CAPACIDADE PARA APRENDER ATRAVÉS DA
OBSERVAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE OUTRAS.

Dissertação no âmbito do Mestrado em Ecologia orientada pelo
Professor Doutor Paulo Jorge Gama Mota e apresentada ao
Departamento Ciências da Vida da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra.

outubro de 2021

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ricardo Fernando Marques da Silva

AS AVES APRENDEM COM AS OUTRAS?

UM TESTE EM MILHEIRINHAS (*SERINUS
SERINUS*) SOBRE A CAPACIDADE PARA APRENDER
ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO DO COMPORTAMENTO
DE OUTRAS.

Dissertação no âmbito do Mestrado em Ecologia orientada pelo
Professor Doutor Paulo Jorge Gama Mota e apresentada ao
Departamento Ciências da Vida da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra.

outubro de 2021

“Surdo murmúrio do rio,
a deslizar, pausado, na planura.
 Mensajeiro moroso
 dum recado comprido,
di-lo sem pressa ao alarmado ouvido
 dos salgueirais:
 a neve derreteu
 nos píncaros da serra;
 o gado berra
 dentro dos currais,
 a lembrar aos zagais
 o fim do cativoiro;
anda no ar um perfumado cheiro
 a terra revolvida;
 o vento emudeceu;
 o sol desceu;
a primavera vai chegar, florida.”

Anunciação, Miguel Torga

Agradecimentos

Este trabalho é o culminar de seis anos duros, exigentes, mas inesquecíveis. Mesmo com enormes desafios pelo meio, sei que chego aqui firme e de cabeça erguida. Este é um marco que se deve muito ao enorme leque de pessoas que me acompanham ao longo destes últimos anos e de toda a minha vida.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Paulo Gama Mota por desde cedo, quer com as suas aulas de Evolução quer, mais tarde, em Biologia do Comportamento ter contribuído para algo que desde sempre me cativa e apaixona, o Comportamento Animal! Agradeço, ainda, ter aceitado ser meu Orientador nesta aventura e me ter transmitido tanto conhecimento, conselhos e experiências.

Um obrigado à Leonor e a Nati não chega! Obrigado por estarem sempre lá! Obrigado, Leonor, por toda a ajuda no campo e no laboratório! Foste essencial para o sucesso deste projeto e espero ter correspondido às expectativas que tens em mim, tenho muito orgulho em ti! Tens um lindo mundo lá fora à tua espera. Vai com tudo! À Nati, obrigado por toda a ajuda quer com conselhos quer com a análise! Mesmo longe estiveste sempre perto, obrigado! Agradeço ainda ao Alex, ao Diogo e ao António por toda a colaboração na captura das aves no campo.

A todos os meus amigos, obrigado! Vocês são inesquecíveis! Um grande apoio desde sempre e ainda mais com a chegada desta pandemia que tantas limitações me trouxe. Obrigado a todos vós por terem contribuído com críticas e sugestões para melhorar este trabalho, seja na escrita ou em todo o planeamento! Um obrigado especial às Joanas, Marias, Raquel, Oliveira, Aida, Bia, Cris e Salomé! Cada um à sua maneira, mas todos vocês foram um forte pilar nesta luta! Vocês sabem! Obrigado por tudo!

Um especial agradecimento ao Jardim Botânico da Universidade de Coimbra por ter cedido o jardim para a captura de aves, apesar de não termos conseguido capturar nenhuma lá.

À Fundação Lapa do Lobo agradeço todo o apoio prestado ao longo dos últimos dois anos. Sem a vossa ajuda, este sonho nunca teria sido possível alcançar! Obrigado!

E por fim, agradeço àqueles que são o meu porto de abrigo! Pai e Mãe desculpem a ausência nos últimos longos meses. Foi um ano muito duro para todos nós, mas vocês estiveram sempre lá, como estiveram sempre ao longo de toda a minha vida! Devovos tudo e um obrigado nunca será suficiente para agradecer todos os sacrifícios que fizeram por mim! Sis fofa e linda, o teu Bro conseguiu!!! És o meu orgulho, tu sabes! Obrigado por tanto me dares na cabeça, me obrigares a descansar, a comer chocolate para ter energia para trabalhar e por nunca me deixares desistir! Não podia ter melhor pessoa na minha vida, mas também a mais chata, tu sabes! Agarra-te a todas as oportunidades que a vida te dá com unhas e dentes porque nada nem ninguém te vai derrubar! Queijinho!

Quero dedicar esta dissertação de mestrado aos meus pais e irmã! Vocês são uns guerreiros e vamos enfrentar esta batalha que é a vida, juntos! Sempre!

Obrigado a todos!

Índice

Agradecimentos.....	- 7 -
Abstract	- 11 -
Resumo	- 13 -
Capítulo I	- 15 -
Introdução.....	- 15 -
Cognição.....	- 17 -
Aprendizagem.....	- 18 -
Aprendizagem por associação	- 18 -
Aprendizagem por observação	- 20 -
<i>Reversal Learning</i> (ou aprendizagem invertida).....	- 25 -
Espécie em estudo.....	- 27 -
Objetivos.....	- 28 -
Capítulo II	- 31 -
Materiais e Métodos.....	- 31 -
Captura e Aclimação	- 33 -
Medição da coloração.....	- 34 -
Metodologias	- 35 -
A importância da escolha da cor.....	- 37 -
1. Pré-teste.....	- 38 -
2. Testes de Formação de tutores	- 38 -
3. Sessões de observação e teste das aves inexperientes	- 41 -
4. Testes de retenção de memória	- 43 -
5. Testes de Reversão	- 44 -
Análise Estatística	- 45 -
Enquadramento Legal	- 47 -
Capítulo III	- 49 -
Resultados.....	- 49 -
Pré-teste.....	- 51 -
Testes de formação de tutores.....	- 51 -
Testes de aprendizagem das aves inexperientes.....	- 52 -
Coloração.....	- 57 -
Número de sessões para atingir o critério de aprendizagem.....	- 57 -

Testes de retenção de memória	- 58 -
Testes de reversão.....	- 58 -
Capítulo IV.....	- 63 -
Discussão.....	- 63 -
Formação de tutores.....	- 65 -
Aprendizagem das aves inexperientes	- 67 -
Características do bico	- 72 -
Coloração e a Aprendizagem	- 72 -
Retenção de memória	- 73 -
Testes de reversão.....	- 74 -
Notas finais.....	- 79 -
Referências Bibliográficas	- 83 -
Anexos	- 89 -
Medidas morfométricas	- 91 -
Análise dos fatores.....	- 92 -
Setup	- 93 -

Abstract

Over the past few decades, social learning has been documented in several species, however examples of social learning ability are described in just a limited number of bird species. Particularly relevant are corvids, which are very social birds, but also the Great tit, which is a non-social species. However, the same is not true for other small passerines. We wanted to study the cognitive abilities of individuals from less social but also granivorous species for the possibility of social learning. For that we used a small social gregarious granivorous passerine, the Serin (*Serinus serinus*) on a foraging association task. We trained birds to feed on hidden holes covered with a colour disk and used them as demonstrators. About half of the individuals, both males and females, learned to perform the task after observing the behavior of the demonstrators, showing that they are capable of social learning. We also observed that there is an effect of sex and age of the naïve birds on their social learning ability. The birds that learned best were female birds, but also younger birds. Memory retention ability was assessed fifteen days later, with a 100% success rate. When subjected to a test of reversal of the initial learned color, about half of the learners were capable of switching for the new defined rule, reversing the color they had previously learned without showing signs of disturbance from the change they were subjected to. There were no effects of either sex or age of the birds in this test. The results of this study demonstrate the existence of strong cognitive abilities that a small passerine bird with unique characteristics possesses.

Key words: *Serinus serinus*, observational learning, memory retention, gregarious-granivorous species, food

Resumo

Ao longo das últimas décadas, a aprendizagem social tem sido documentada em diversas espécies, porém exemplos da capacidade de aprendizagem social são descritas para um escasso número de espécies de aves. Aqui destacam-se os corvídeos, aves bastante sociais, mas também o chapim-real, que é uma espécie não social. Contudo, não existem estudos sobre o que acontece noutros pequenos passeriformes. Quisemos estudar as capacidades cognitivas de indivíduos de espécies menos sociais, mas também granívoras para a possibilidade de aprendizagem social. Utilizou-se um pequeno passeriforme granívoro e gregário, a milheirinha (*Serinus serinus*) num teste de associação de procura por alimento. Treinou-se aves de forma se alimentarem em buracos escondidos sendo cobertos com um disco de cor, e utilizaram-se como tutores. Cerca de metade dos indivíduos, tanto machos como fêmeas, aprenderam a realizar a tarefa após observarem o comportamento dos tutores, mostrando que são capazes de aprendizagem social. Observou-se também que existe um efeito do sexo e da idade das aves inexperientes na sua capacidade de aprendizagem social. As aves que melhor aprenderam foram as do sexo feminino, mas também as aves mais jovens. A capacidade de retenção de memória, avaliada quinze dias depois, apresentou uma taxa de sucesso de 100%. Quando sujeitadas a um teste de reversão da cor inicial aprendida, cerca de metade dos aprendizes foram capazes de mudar para a nova regra definida, invertendo a cor que tinham anteriormente aprendido sem mostrarem sinais de perturbação pela mudança a que foram sujeitas. Neste teste não se verificaram efeitos nem do sexo nem da idade das aves. Os resultados deste estudo demonstram a existência de veementes capacidades cognitivas que um pequeno passeriforme com características muito próprias possui.

Palavras-chave: *Serinus serinus*, aprendizagem por observação, retenção de memória, espécie gregária, alimentação

Capítulo I

Introdução

Cognição

Com origem na palavra *Cognitione* dos escritos de Platão e Aristóteles, cognição trata-se como sendo a função psicológica que atua para adquirir conhecimento. Apesar da dificuldade em definir com clareza este conceito, de acordo com o que Sara Shettleworth (2001) refere, cognição é a capacidade que os animais possuem para reter informações através dos seus sentidos e as guardam, processam e decidem, ou não, agir perante elas, em todas as suas formas possíveis.

Estes comportamentos permitem, assim, integrar todas as informações adquiridas e processadas para ajudar os animais a avaliar, valorizar e interpretar o mundo onde estão inseridos. Assim, com a cognição é possível acumular informações sobre os mais variados assuntos com que lidamos atualmente e que são adquiridos graças à experiência vivida e à aprendizagem diária e contínua que todos os animais enfrentam. É com base em processos como estes que, através da cognição, é possível converter os dados recolhidos pelos nossos sentidos em conhecimento.

Um processo cognitivo descreve-se como o procedimento com que cada animal incorpora novos conhecimentos e toma diferentes decisões em função do conhecimento que adquiriu. A percepção, a atenção, a memória, o raciocínio e a aprendizagem são algumas das funções cognitivas que possuímos e em que um processo cognitivo interfere, sendo que colaboram em conjunto para ser parte daquilo que é o conhecimento (Griffin et al., 2015). Os processos cognitivos apresentam um papel fundamental em diversos comportamentos como, por exemplo, o forrageamento e escolha do par.

Uma modificação no comportamento que é causada pelo resultado de uma experiência a que um indivíduo esteve sujeito designa-se por aprendizagem comportamental, sendo exemplos: aprendizagem por tentativa-erro, imitação e associação.

Aprendizagem

É na aprendizagem que este trabalho tem o seu principal foco. Esta é o processo cognitivo pelo qual é possível incorporar novas noções ao conhecimento prévio de um indivíduo.

Existem diversos tipos de aprendizagem, mas este trabalho é centrado na aprendizagem por observação de outros. Contudo, também são focadas a aprendizagem por associação, mais concretamente no que diz respeito ao condicionamento clássico e, ainda, a aprendizagem invertida (*reversal learning*).

Aprendizagem por associação

A aprendizagem por associação tem por base o seguinte propósito: quando um estímulo específico é apresentado a um indivíduo, este irá desencadear uma nova resposta que não surgiu anteriormente. Ou seja, quando alguém é exposto a uma dada situação que lhe é desconhecida, pode, ou não, gerar uma resposta que vá de acordo ao objetivo estabelecido. Nesta forma de aprender, existe a associação de um estímulo ambiental a um outro estímulo, que desencadeia um estímulo resposta no sistema nervoso central dos animais. Para a aprendizagem permanecer é importante que ocorra a repetibilidade consistente da associação. Isto permite ao indivíduo não tratar a associação a que foi sujeito como um ato isolado, favorecendo assim a conservação da aprendizagem por associação. Em alguns tipos de aprendizagem por associação há a adição de um reforço que pode ser positivo ou negativo, como uma recompensa quando a associação é concluída com sucesso ou uma punição quando não é possível alcançar o pretendido (Griffin et al., 2015).

Um dos exemplos de aprendizagem por associação mais famosos e reconhecidos por todo o mundo diz respeito ao fisiologista russo Pavlov e às suas experiências em cães descrevendo e demonstrando o denominado condicionamento clássico (Pavlov, 1927).

A existência de capacidades em realizar diferentes associações entre desafios e recompensas foram descritas em primatas (Manrique et al., 2013; Renner et al., 2017). Contudo, outras aves, além dos pinguins, também são capazes de realizar as mais diversas associações. Um estudo usando uma pequena espécie de passeriformes, a *Melospiza melodia*, demonstrou que este pequeno passeriforme é também capaz de realizar associações entre cor e alimento e aprender essa mesma associação (Boogert et al., 2011). Outro estudo em corvídeos vem confirmar a capacidade de aprendizagem por associação quer em machos quer em fêmeas (Izawa & Watanabe, 2011).

Estudos em chapins-reais (*Parus major*) demonstram que passeriformes insetívoros são capazes de aprender por associação (Aplin et al., 2015; Morand-Ferron et al., 2015). Um outro estudo dos mesmos autores (Aplin et al., 2013) também mostrou a capacidade de chapins-azuis (*Cyanistes caeruleus*) associarem uma tarefa que necessitam de executar para os permitir aceder a uma recompensa: alimento. Também outras espécies como a ave granívora periquito-australiano (*Melopsittacus undulatus*) ou a pega-australiana (*Gymnorhina tibicen*) são igualmente capazes de aprender por associação, (Chen et al., 2019) e (Ashton et al., 2018), respetivamente. É por isso evidente que diversos animais, incluindo aves de várias famílias, são capazes de aprender por associação em tarefas de procura por alimento. Porém, serão os animais também capazes de aprender por observação?

Aprendizagem por observação

Para Albert Bandura (1977), a aprendizagem social é possível através da observação de comportamentos que outros executam e que nos são próximos. Um indivíduo é capaz de assimilar esses comportamentos principalmente se lhe for benéfico, ou seja, se o indivíduo ao realizar aquele comportamento tem um retorno benéfico e que acaba por compensar a energia que investe em realizar a tarefa. É importante referir que para Bandura, o indivíduo que assume o papel de demonstrar o comportamento deve ser alguém com que o observador tenha alguma ligação ou que lhe seja de alguma forma próximo. Assim, defende que a aprendizagem com os outros é possível através de mecanismos como a imitação ou a emulação.

A aprendizagem por observação, focada por Bandura, foi amplamente demonstrada estar presente nos seres humanos (Bandura et al., 1977). Um exemplo prático disso pode ser algo tão simples como um professor a ajudar um aluno a realizar uma tarefa escolar, como um cálculo matemático: o professor realiza o exercício juntamente com o aluno, passo a passo, de forma que o aluno possa incorporar a explicação do professor e, mais tarde, possa repetir corretamente a resolução do exercício.

Ao longo dos últimos anos tem-se vindo a questionar se apenas os seres humanos seriam capazes de aprender por observação de outros. Estudos noutros primatas, como os macacos capuchinhos (Renner et al., 2017) ou em chimpanzés (Price et al., 2009) demonstraram que outras espécies eram capazes de aprender por observação, emulando o comportamento observado. O conjunto de comportamentos adotados não é uma réplica exata das ações que o tutor tomou. Assim, pode-se inferir que o sujeito é capaz de atingir o seu objetivo, mas os seus passos não são todos iguais ao modelo, podendo saltar alguns passos para atingir o seu objetivo ou tomar outros comportamentos semelhantes para o mesmo objetivo. A este tipo de

aprendizagem por observação é dado o nome de emulação (Tomasello, 1996), (Renner et al., 2017), (van de Waal et al., 2015). No caso dos primatas, sempre se pensou que estes não eram capazes de executar uma dada o nome de emulação (Tomasello, 1996), (Renner et al., 2017), (van de Waal et al., 2015). No caso dos primatas, sempre se pensou que estes não eram capazes de executar uma tarefa realizando todos os passos que um tutor demonstrava, mas eram capazes de atingir o objetivo final com o comportamento em questão (Myowa-Yamakoshi & Matsuzawa, 2000; Zentall, 2006). Porém, um estudo realizado com *Pan troglodytes* mostrou ser possível que chimpanzés sejam capazes de aprender por imitação de outros, contrariando o que até então se pensava não estar presente nos primatas (Horner & Whiten, 2005). Um estudo mais recente realizado noutra espécie de primatas, *Chlorocebus pygerythrus* mostrou também que estes são capazes de emular e imitar um comportamento (van de Waal et al., 2013).

A aprendizagem por observação pode também ser realizada através da imitação. A imitação é um tipo de aprendizagem que consiste na observação de um demonstrador a realizar uma dada tarefa, sendo que, de seguida, o sujeito que observa imita o comportamento do tutor, cumprindo e repetindo todos os passos que este tomou, ao contrário do que acontece na emulação (Shettleworth, 2009; Zentall, 2006).

Para além dos primatas, outros seres vivos são capazes de aprender por observação de um tutor imitando ou emulando o seu comportamento. Estudos feitos em ratos, esquilos ou golfinhos demonstram que a aprendizagem por observação é possível (Galef & Laland, 2005; Weigl & Hanson, 1980; Yeater & Kuczaj II, 2010). De realçar que os primatas são espécies sociais e que vivem em comunidades socialmente sólidas e estáveis, com vários indivíduos. Estes fatores permitem que a troca de interações entre indivíduos seja muito maior nestas espécies em comparação com espécies não sociais e, assim, a aprendizagem com os outros seja mais expressiva. Ao longo deste trabalho será usado indistintamente imitar para as duas

formas de aprendizagem referidas. E no caso das aves? Será a imitação provável ou possível de acontecer? Será que as espécies sociais de aves também são capazes de aprender por observação de outros?

Uma experiência de aprendizagem social foi realizada em corvídeos (*Corvus corax*), uma espécie de aves bastante social (Bugnyar & Kotrschal, 2002). Após a formação de aves que serviram como demonstradores, colocaram-se corvos sem qualquer aprendizagem prévia a observar os demonstradores a acederem ao alimento nos locais onde tinham anteriormente aprendido. A maioria das aves quando foi, depois, testada, foi capaz de se deslocar de imediato aos locais onde tinham observado estar alimento presente. De realçar que, neste estudo, as aves que não foram capazes de se deslocar no imediato a algum dos locais com alimento, acabaram por aceder aos mesmos após passarem longos períodos de tempo explorando o espaço onde os testes decorreram. Isto demonstrou a capacidade das aves aprenderem com a observação de outras. Demonstrou igualmente que através da aprendizagem social as aves conseguem aceder mais rapidamente ao alimento, aumentando assim a sua eficiência alimentar e despendendo igualmente menos energia na procura por alimento (Bugnyar & Kotrschal, 2002; Galef & Laland, 2005).

Uma outra espécie social de corvídeos, *Gymnorhina tibicen*, vulgarmente denominada de pega-australiana, foi sujeita a diversos testes cognitivos com o intuito de se perceber se eram capazes de aprender com os outros (Ashton et al., 2018). Inseridas num grupo social estável, as pegas adultas demonstraram uma elevada performance cognitiva na aprendizagem por observação, o que suporta a ideia de que o ambiente social apresenta um papel bastante importante na evolução cognitiva (Ashton et al., 2018). Uma vez mais, as aves foram sujeitas a tarefas de procura por alimento que demonstraram que, com um cérebro muito pequeno, também elas são capazes de aprender por observação. As aves com melhores performances cognitivas neste estudo também foram aquelas que posteriormente apresentaram um melhor sucesso reprodutivo.

Numa outra ordem das aves (Psittaciformes), foi realizado um estudo cognitivo em periquitos-australianos (Heyes & Saggerson, 2002) onde se demonstrou que uma espécie granívora, como a espécie em estudo neste projeto, é capaz de aprender por observação. Também se destaca o facto de que as fêmeas observadoras foram capazes de remover mais vezes o obstáculo (uma rolha) para aceder ao alimento do que os machos. Uma vez mais, foram usadas cores distintas nas rolhas para distinguir os buracos com e sem alimento, tal como no estudo em pegas australianas referido anteriormente (Ashton et al., 2018). Estudos realizados mais recentemente (Griffin et al., 2014, 2015) vêm reforçar a ideia de que a capacidade cognitiva de espécies de aves sociais é elevada, sendo capazes de realizar tarefas cognitivas e aprenderem com observação dos outros. De realçar ainda que pequenos passeriformes com uma estrutura social estável como *Arabian babblers*, são capazes de usar estratégias comportamentais sociais de procura por alimento com outros indivíduos (Keynan et al., 2015). Um outro exemplo de como pequenos passeriformes são capazes de comportamentos quer de aprendizagem por associação quer de aprendizagem por observação de outros está descrito em estudos com mandarins-diamante, *Taeniopygia guttata*, quer a nível da alimentação mas também da construção do ninho através da imitação de aves da mesma espécie que lhe são familiares (Guillette et al., 2014, 2016).

Estando demonstrado que é possível que espécies de aves sociais sejam capazes de aprendizagem por observação, coloca-se a questão de saber se esta aprendizagem também acontece em espécies de aves não sociais. Serão estas capazes de aprendizagem por facilitação social, mas não são capazes de aprendizagem por observação? Ou não serão capazes de aprender socialmente de todo?

Primeiro é importante definir o que é uma espécie não social. Em aves, espécies não sociais são aquelas que ou são solitárias ou formam agrupamentos temporariamente, mas sem a criação de uma rede de relações que deverão ser

estáveis. Apesar disso, um fenómeno que surgiu numa espécie não social, o chapim-real (*Parus major*) suscitou muito interesse na comunidade local e científica britânica, a partir do início dos anos 30 do século XIX. Nas Ilhas Britânicas, estas aves desenvolveram um comportamento muito intrigante: estas conseguiam abrir as tampas das garrafas de leite colocadas à porta das casas que lhes garantiam o acesso a uma fonte de alimento muito nutritiva (Aplin et al., 2013) (Fisher & Hinde, 1949). Este comportamento expandiu-se, possivelmente por efeito contágio, nos chapins-reais ao longo de vários anos. Colocou-se a questão de saber como o comportamento se expandiu (Aplin et al., 2013)? Na época colocaram-se duas possíveis respostas. Uma que defendia que o comportamento se expandiu por transmissão social, o que prefigura uma espécie de cultura animal. A outra centrava-se na descoberta espontânea de cada indivíduo, muito possivelmente por tentativa e erro. Para tentar responder a esta questão realizou-se recentemente uma experiência nesta mesma ave, o chapim-real (Aplin et al., 2015). Nesta verificou-se que as aves com tutores aprendiam muito mais depressa e aprendiam o procedimento usado pelos tutores e em função da proximidade com eles. Na presença de aves com tutores evidenciou-se um aumento enorme na aprendizagem e aprendiam consoante aquilo que os tutores aprenderam (Aplin et al., 2015). No entanto, apesar de ser sempre possível as aves aprenderem por tentativa-erro a probabilidade de toda uma população de aves o fazer, mesmo sendo espécies não sociais ou espécies solitárias, é muito baixa o que torna improvável acontecer em grupos tão heterógenos e numerosos de aves (como o grupo de aves usado nos trabalhos de Aplin). Além deste trabalho, outros têm sido desenvolvidos no sentido de perceber as capacidades cognitivas e de aprendizagem social em diversas espécies de animais não sociais, como em *Geochelone carbonaria*, um réptil não social que demonstrou ser capaz de aprender melhor a realizar tarefas por observação de outros do que por aprendizagem individual (Wilkinson et al., 2010). Um estudo com polvos-comum (*Octopus vulgaris*), que é uma espécie não social, consistia na resolução de tarefas de procura por alimento através da observação de

demonstradores. Os polvos conseguiram realizar a tarefa com sucesso, mostrando assim que animais invertebrados são capazes de aprendizagem por observação (Gowda et al., 1989) (Borrelli et al., 2020). Na literatura existe, ainda, um estudo que demonstra que a capacidade de imitar outros ocorre igualmente em peixes cartilagíneos como numa raia, *Potamotrygon falkneri* que habita em água doce (Thonhauser et al., 2013). Um estudo numa espécie gregária de aves, os estorninhos, verificou que estes observavam o sucesso de forrageamento de outros estorninhos para escolherem que locais deveriam ou não visitar para se alimentarem (Templeton & Giraldeau, 1996). Um outro projeto desenvolvido noutra espécie gregária, *Agelaius phoeniceus*, mostrou também que os indivíduos são capazes de usar a experiência de outras aves que observam para melhorar a sua própria experiência nas tarefas de procura por alimento (Mason & Reidinger, 1981). Esta é uma forma de aprendizagem por observação numa espécie gregária, como a espécie em estudo neste trabalho.

Reversal Learning (ou aprendizagem invertida)

A aprendizagem invertida, ou *reversal learning*, estuda diversos aspetos na capacidade de aprendizagem sendo que os mecanismos neurológicos associados são equiparáveis entre várias espécies e os ensaios experimentais que a estudam com bases científicas semelhantes para várias espécies, através do treino dos animais em testes de discriminação binária. Primeiro com uma determinada associação entre estímulo-resposta que leva a uma recompensa e mais tarde com a recompensa a estar presente onde anteriormente não estaria, mudando assim a resposta ao estímulo inicial para uma resposta ao estímulo anterior não recompensado (Boussard et al., 2020; Griffin et al., 2015). Este é um tipo de aprendizagem pouco estudada e conhecida pela comunidade científica.

A flexibilidade comportamental está intimamente ligada ao *reversal learning* visto que este tipo de aprendizagem obriga a que o indivíduo necessite de ser capaz de se adaptar e flexibilizar as suas capacidades cognitivas de forma a poder responder ao estímulo (Shettleworth, 2009; Shettleworth & Hampton, 1998).

O *serial reversal learning*, a associação estímulo-recompensa (p.e. cor-comida) é invertida várias vezes. Esta aprendizagem é considerada bastante mais exigente e permite detetar diferenças na formação de estratégias de aprendizagem eficientes. O desenvolvimento de estratégias de aprendizagem eficientes tem por base as experiências anteriores do indivíduo que o permita desenvolver uma estratégia que maximize as recompensas recebidas. (Boussard et al., 2020; Shettleworth, 2009)

Um estudo com chapins-reais mostrou que é possível uma ave inverter e alterar o seu comportamento (Cauchoix et al., 2017). Um outro trabalho desenvolvido para estudar a evolução da flexibilidade comportamental com o *reversal learning* em três espécies de corvídeos (Bond et al., 2007). Os resultados sugerem que as três espécies, umas mais sociais do que outras, foram capazes de alterar e adaptar o seu comportamento e se adaptarem a um novo comportamento. Muitas sessões foram realizadas nestas aves. Contudo, todas as espécies foram capazes de melhorar o seu desempenho quer nas tarefas de mudança de cor quer noutros tipos. Tal sugeriu que as aves são capazes de desenvolver novas estratégias de aprendizagem para responder ao proposto e alcançar o seu objetivo, o alimento. Assim, parece ser possível existir evolução conjunta entre a flexibilidade de um comportamento e a aprendizagem social (Bond et al., 2007).

Espécie em estudo

Serinus serinus (Linnaeus, 1766), vulgarmente conhecida por milheirinha, foi a espécie escolhida para este estudo. É uma das aves mais comuns que existem em Portugal, embora seja também encontrada pela Ásia menor, noroeste de África e por toda a Europa. Por isso, o estado de conservação que lhe está atribuído pela IUCN é o de menos preocupante (LC). Esta é uma ave pequena com cauda bifurcada e que, em média, apresenta 11,5cm de comprimento e que faz parte do Reino Animalia, Filo Chordata, Classe Aves, Ordem Passeriformes, Família Fringillidae e Género *Serinus*.

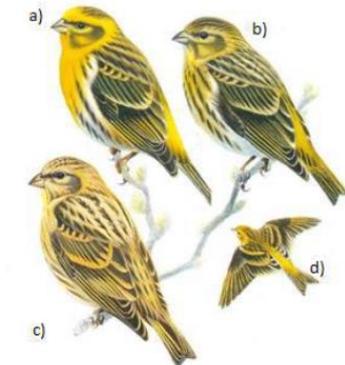


Figura 1 - Ilustração de *Serinus serinus* (milheirinhas). Em a) observa-se um macho adulto. Em b), observa-se uma fêmea adulta. Em c), encontra-se um juvenil e, por fim, em d) observa-se um macho adulto em voo (adaptado de Clement et.al 1993).

É uma espécie gregária, sem comportamentos territoriais e semicolonial (Cramp & Brooks, 1992). Esta apresenta uma coloração amarelada (**Figura 1**) e se caracteriza por ser socialmente monogâmica. A milheirinha reproduz-se, normalmente, entre os meses de fevereiro e julho, maioritariamente em habitats com vegetação variada, como jardins, áreas urbanas e rurais, mas também em áreas florestais abertas. Durante a época reprodutiva é normal encontrar os diferentes indivíduos

desta espécie organizados em grupos, mas também se encontram, pontualmente, aves isoladas (Mota, 1995). No Inverno assiste-se à formação de grandes bandos nos campos, por vezes com outras espécies de fringílídeos, principalmente para se alimentarem. Este passeriforme através do seu bico curto alimenta-se de partes de plantas, bem como sementes e ocasionalmente pequenos invertebrados. *S. serinus* é uma espécie com dimorfismo sexual: os machos apresentam uma coloração amarela na coroa, garganta, peito e abdómen (**Figura 1**), que é selecionado sexualmente (A. V. Leitão et al., 2014). Esta coloração relaciona-se com o estado de saúde do indivíduo (Trigo & Mota, 2015). As asas são escuras com margens amareladas. Já as fêmeas possuem menos amarelo, mas malhado e mais intenso, em particular no peito (**Figura 1**).

Objetivos

Sendo o chapim-real um passeriforme insetívoro e caçador ativo, é interessante estudar se outras espécies de aves mais gregárias do que os chapins-reais e granívoras ao contrário deste, são igualmente capazes de observar o que as outras fazem e se são capazes disso, se conseguem incorporar a informação que obtêm. Caso o façam até que ponto usam essa informação para tomarem as suas decisões de melhor forma e mais ponderada?

A alimentação é ponto-chave da vida de qualquer ser vivo, principalmente quando falamos de aves com ciclos de vida curtos, o que torna fundamental aproveitar todas as oportunidades que existem para procurar alimento e se alimentarem, de forma a maximizar a eficiência na alimentação. Apesar de serem aves já foi referenciado anteriormente que outras, além do chapim-real, são capazes de desenvolver, explorar e aproveitar as suas capacidades cognitivas. Como são aves de

vida curta, possuem um número bastante reduzido de oportunidades para aprender. Ao analisar possíveis espécies que albergassem o vasto leque de características que pretendemos avaliar, *Serinus serinus* foi a espécie que melhor se enquadrava nas nossas pretensões.

Temos, assim, como principal objetivo estudar se é possível determinar que um passeriforme granívoro, como *Serinus serinus* é capaz de aprender por observação de outros. Com este estudo procuramos responder às seguintes questões:

- Sendo um pequeno passeriforme gregário, será a milheirinha capaz de aprender por imitação de outros a realizar as experiências que lhe foram colocadas?
- Que influências fatores como a idade ou o sexo dos indivíduos podem ter na aprendizagem?
- Será a milheirinha capaz de reter na sua memória durante algum período de tempo um comportamento adquirido através da aprendizagem?
- Pode ter a cor um papel importante como indicador de melhor eficiência alimentar?

Assim, os objetivos deste trabalho centram-se em medir a capacidade de aprendizagem de cada ave. Pretendemos também determinar se o sexo ou a idade influenciam a capacidade de aprender, e ainda se os machos que aprendem mais rápido são os mais coloridos.

Por fim, além de estudar a capacidade de uma pequena ave como a milheirinha é capaz de reter na sua memória um comportamento que aprendeu e ainda se é capaz de alterar o seu comportamento e adaptá-lo num teste de aprendizagem invertida.

Capítulo II

Materiais e Métodos

Captura e Aclimação

Aves de ambos os sexos foram capturados com o uso de redes-de-neblina, entre os meses de janeiro e março de 2021, não interferindo com a época reprodutiva desta espécie. As capturas ocorreram em áreas rurais circundantes à cidade de Coimbra, especificamente junto à Estrada Municipal 605, em Taveiro (40°12'04.8"N 8°30'57.1"W), junto à Rua do Lavadouro, na Rapoila (40°08'22.0"N 8°33'11.4"W) e junto ao caminho municipal que ladeia o dique da margem direita do rio Mondego junto a São Martinho da Árvore (40°12'11.3"N 8°32'16.5"W). Após a captura, as aves foram de imediato transportadas para um aviário indoor pertencente ao Laboratório de Etologia no Departamento Ciências da Vida da Universidade de Coimbra.

As aves foram divididas em gaiolas de grupo de acordo com o seu sexo, num máximo de 5 aves em cada uma. Foram retiradas as medidas morfométricas a cada ave: três medidas do bico – comprimento, altura e largura, tarso, comprimento das duas asas e cauda e foi registado o seu peso. Ainda foi observado o estado de maturidade de cada ave. Realizou-se, também, a contagem de ectoparasitas presentes nas penas primárias de ambas as asas. Após estes passos, cada ave foi anilhada com uma anilha de plástico preta numerada, de forma a ser possível identificar a ave durante os trabalhos experimentais.

Os indivíduos foram sujeitos a um período de aclimação às condições controladas do aviário. Todos os indivíduos tiveram pleno acesso a água potável e a uma alimentação variada composta por sementes de alpista, aveia descascada, linhaça, perilha, níger e cânhamo, sendo a mesma completada com suplementos vitamínicos durante grande parte do período das aves em cativeiro. O aviário esteve sempre sujeito a uma temperatura constante de 20 ± 2 °C com um fotoperíodo natural.

Durante o período de aclimação foi colocada em cada gaiola uma ave de *Serinus canaria domestica* de forma a facilitar a adaptação das aves capturadas.

No total, foram capturadas 22 aves, sendo 10 machos e 12 fêmeas. Duas destas aves morreram, de causas desconhecidas, ainda antes do início deste estudo e por isso não foram consideradas em nenhum momento para o mesmo.

Medição da coloração

A coloração dos machos foi medida antes do início do tratamento experimental, através de espectrofotometria de refletância, com um espectrofotômetro Ocean Optics USB4000, com uma fonte de luz de deutério e halogéneo (Mikropack Mini-DT-2-GS, UV-VIS-NIR Lightsource) que emite luz no intervalo entre 300 a 900nm. Este é um intervalo adequado para o alcance visual de passeriformes, situando-se entre os 320nm e os 700nm. Uma fibra ótica em forma de Y, o cabo ótico OceanOptics R400-7 UV/VIS foi usado para realizar as medições que foram efetuadas em quatro zonas do amarelo: coroa, garganta, tórax e abdómen (**Figura 2**), tomando-se três medições em cada área, levantando e baixando a sonda entre as medições, para o cálculo de um valor médio por área (Trigo & Mota, 2015). Todas as medições do espectro foram expressas na proporção de luz em relação a um padrão branco (Ocean Optics, WS-1-SS White Standard) e a um padrão escuro. Os dados obtidos com a espectrofotometria foram utilizados para calcular cada um dos quatro cones cromáticos das aves (UVS, SWS, MWS e LWS). Cada um destes foi calculado como o produto da soma da refletância da plumagem, da iluminação ambiente (luz diurna standard D65), e do espectro de absorção do cone em todo o comprimento de onda do espectro visual das aves. Utilizou-se ainda o modelo visual do chapim-azul, *Cyanistes caeruleus* (Hart et al., 2000), normalmente utilizado como representativo de aves com visão UVS (Hastad

et al., 2005). (Hastad et al., 2005). A coloração da plumagem das aves foi pontuada e relacionada atrás da seguinte fórmula: $SWS\ ratio = 1/3(UVS+MWS+LWS)/SWS$, que funciona como um índice da concentração de carotenoides na coloração (Evans et al., 2010). Estes foram calculados pelo software PAVO (Maia et al., 2013), corrido em R (R development Core Team 2013).

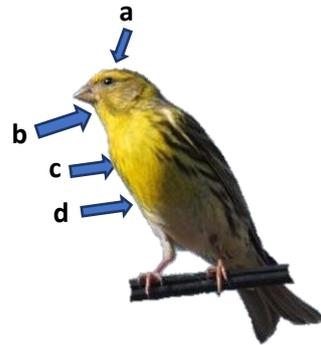


Figura 2 - Locais onde a coloração foi medida: em a), a coroa, em b), a garganta, em c), o tórax e d), o abdómen.

Metodologias

Todos os testes foram filmados (câmaras Panasonic WV-CP500/G) e gravados para posterior análise com o auxílio do programa informático Media Recorder – 2.0 (Noldus, Wageningen, Países Baixos). Antes do início de cada ronda diária de testes, as aves foram privadas de alimento durante 3 horas de forma a garantir que estariam motivadas para procurar comida e explorar a arena (dimensões: 1,35m x 1,10m x 2,15m). Foram idealizados e executados 5 testes distintos que serão descritos mais à frente.

Tutores - Para a realização dos testes, foi necessário ter um grupo de tutores, i. e., aves que foram treinadas para realizar o comportamento e funcionarem como demonstradores. Estas foram isoladas numa única gaiola, de forma a garantir que não

havia interação física entre estas e as restantes aves. Tendo em consideração a limitação do número de aves capturadas, e para garantir o melhor desenho experimental possível, foram escolhidos aleatoriamente um macho e uma fêmea para serem tutores. Mais tarde, foi necessário selecionar mais uma fêmea para ser sujeita ao teste em 2, como será explicado mais adiante.

Os testes foram desenhados de forma que as aves facilmente fossem capazes de destapar os buracos com comida de uma placa de madeira com 16 buracos (doravante designado apenas como tabuleiro), como representado na **Figura 3**.

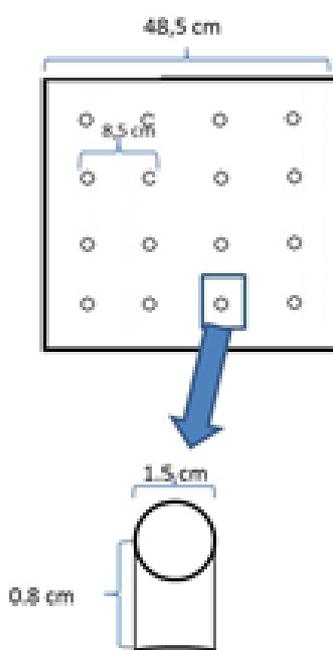


Figura 3 - Esquema demonstrativo do tabuleiro de madeira com 16 buracos utilizado durante este projeto. As medidas do mesmo estão referidas na figura.

Os tabuleiros utilizados possuíam um total de dezasseis buracos circulares dispostos em quatro linhas e quatro colunas. Estes possuíam uma profundidade de 0,8cm e 1,5cm de diâmetro, o que permite o fácil acesso da ave ao alimento colocado no fundo dos buracos. Durante os testes, metade dos dezasseis buracos era coberto

com um disco de cor, sendo metade destes (4) de uma cor e metade da outra. Deste modo, o espaço continha buracos destapados e buracos tapados com discos de duas cores diferentes. Este *setup* é mais exigente que uma situação dicotômica, porque qualquer aproximação a um buraco destapado também conta como uma escolha errada. Os discos circulares coloridos tinham um diâmetro de 22 mm, ligeiramente superior ao diâmetro do buraco, e tinham uma espessura de 1 mm, e um peso de 500 mg o que permitia que pudessem ser facilmente removidos com o toque das aves, mas não o fossem com a corrente de ar produzida pelo levantar voo de uma ave. A escolha dos buracos a cobrir na matriz de 4x4 em cada teste foi completamente aleatorizada através de uma rotina de 'random permutation' de "R", versão 3.6.2 (Becker et al., 1988; Ripley, 1987), sendo corrida a rotina para produzir uma distribuição para cada teste, garantindo diferentes combinações de sequências das posições dos discos no tabuleiro em cada teste.

O alimento utilizado nos buracos durante a realização dos testes foi o mesmo utilizado diariamente na alimentação das aves. A água estava disponível ad libitum.

A importância da escolha da cor

De forma a garantir que as aves não estão a responder a um sinal ambiental específico (uma cor específica) mas sim a uma informação ambiental relevante (a cor que está em cima da comida) foram usadas duas cores diferentes, azul e vermelho. Estas foram aleatorizadas relativamente à sua função. Assim, foi possível controlar para o efeito da cor. Este controlo é igualmente importante na aprendizagem por observação, visto ter permitido garantir que as aves não se fixam numa cor, mas sim na cor que o tutor mostrou ter comida. Por fim, esta é uma ferramenta valiosa nos testes de reversão ao garantir que as aves são, ou não, capazes de inverter a associação da cor para acederem ao alimento.

As cores escolhidas tiveram em consideração diversos fatores, tais como o facto de serem cores bastante distintas entre si, mas também distintas da coloração presente em *Serinus serinus* e distintos do local onde todos os testes foram realizados.

1. Pré-teste

Todas as aves foram sujeitas a um pré-teste inicial. Neste pretendeu-se verificar se os indivíduos eram capazes de encontrar comida por debaixo dos discos, sem qualquer aprendizagem prévia. Este teste foi realizado uma vez a cada ave com a duração de 30 minutos, sendo cada cor apresentada a metade das aves. A seleção de aves e da cor correspondente foi realizada aleatoriamente.

2. Testes de Formação de tutores

Este procedimento foi realizado apenas com o grupo de aves designadas como tutores, um macho e duas fêmeas. Neste, pretendeu associar-se a relação cor-comida aos indivíduos testados. Cada tutor foi treinado a fazer a associação a apenas uma cor. Às duas fêmeas foi atribuído o vermelho como cor do disco e ao macho a cor o azul (**Figura 4**).

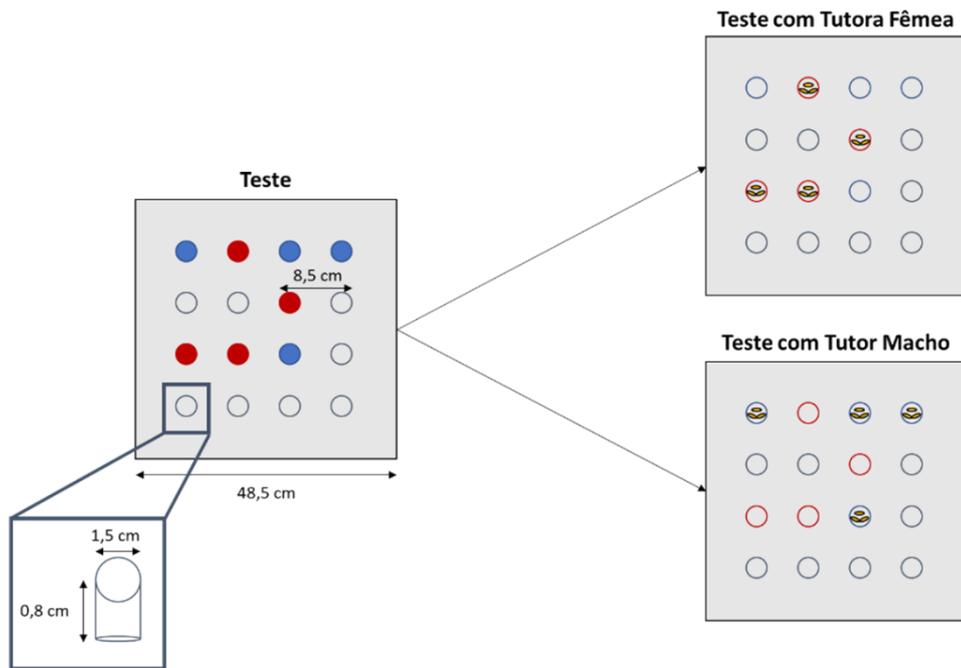


Figura 4 - Esquema representativo do tabuleiro utilizado. Está ainda presente um exemplo de um teste, à esquerda, e a disposição do alimento quando este realizado com tutora fêmea (vermelho, direita, cima) e no caso de um tutor macho (azul, direita, baixo).

O treino dos tutores foi feito em três fases (adaptado de Caves et al., 2018)

(Figura 5):

- Treino A – Discos colocados ao lado dos buracos no tabuleiro.
- Treino B – Discos cobrem um pouco mais de 50% do buraco.
- Treino C – Discos cobrem todo o buraco.

Testes		
A	B	C
<p>Discos ao lado dos buracos</p>	<p>Discos cobrem metade/mais de metade dos buracos</p>	<p>Discos cobrem completamente os buracos</p>

Figura 5 - Esquema retratando a sequência inicial de testes de treino que os tutores tiveram que ultrapassar para atingir a fase final (teste C). Os discos foram sendo tapados por fases de forma a facilitar, numa fase inicial, a associação cor-alimento.

Cada ave avançou para o treino seguinte apenas após cumprir o critério de aprendizagem estabelecido - ir a todos os discos com comida em três de quatro sessões consecutivas. Enquanto o critério não foi cumprido, a ave foi submetida a mais testes treino na fase em que se encontrava. As sessões de treino tiveram uma duração de 30 minutos cada, com intervalos de 10 minutos. Foram realizadas um máximo de quatro sessões diárias a cada indivíduo. Os indivíduos foram considerados como aptos para assumirem o papel de tutor no teste 3 quando alcançaram, com sucesso, o critério de aprendizagem estabelecido para o treino C – deslocar e encontrar alimento em 100% dos locais visitados, num número mínimo de dois discos da cor certa em três sessões consecutivas. Para efeito da determinação do teste em que houve aprendizagem, foi estabelecido retrospectivamente que a primeira sessão em que cada ave cumprisse o objetivo proposto era considerada como tendo aprendido, servindo as restantes sessões até atingir o critério de aprendizagem proposto como sessões de confirmação, ou não, da aprendizagem deste comportamento. Os tutores foram posteriormente usados como demonstradores

perante as aves inexperientes para testar se elas seriam capazes de aprender por observação.

3. Sessões de observação e teste das aves inexperientes

As aves inexperientes foram divididas aleatoriamente em dois grupos, cada um dos quais foi associado a um único tutor, de modo a garantir que a observação dizia respeito a uma única associação do tutor a uma cor específica. Existiu o cuidado de garantir que o número de machos e de fêmeas atribuídos a cada cor fosse o mesmo. Ao grupo vermelho foram atribuídas quatro fêmeas e quatro machos que observaram o tutor fêmea. Por sua vez, cinco fêmeas e quatro machos foram atribuídos ao grupo azul, observando o tutor macho.

A cada sessão de observação do comportamento do tutor seguia-se um teste da ave inexperiente na arena, sem a presença do tutor e tendo a posição dos discos sido de novo aleatorizada (**Figura 6**).

A decisão de limitar o acesso da ave inexperiente ao tabuleiro na fase de observação, colocando-a numa gaiola, prendeu-se com a intenção em evitar interações físicas entre os indivíduos no tabuleiro. Movimentos inesperados podiam levar a que uma das aves inadvertidamente deslocasse um disco (Cadieu et al., 2010); também, interações agonísticas ou situações de dominância poderiam perturbar o processo de demonstração-observação, o que se pretendia evitar nestas experiências.

Esta primeira fase de observação do tutor pela ave inexperiente teve uma duração de trinta minutos, sendo seguido de um intervalo de dez minutos antes de se passar à segunda fase, pós-observação. Durante o período de pausa, o tutor era retirado da arena e um tabuleiro com uma nova sequência de combinação de cores

era colocado, sempre com alimento nos buracos tapados pelos discos da cor com que o tutor aprendeu no teste de formação.

Nesta segunda fase com a duração de 60 minutos, a ave inexperiente já pôde circular livremente pela arena e com acesso ao tabuleiro que possuía o alimento e que a ave deve procurar alcançar (**Figura 6**). Foi estabelecido um limite máximo de duas sessões diárias a que cada ave poderia ser sujeita.

O conjunto das fases de observação e pós observação, denominado como teste, pôde ser repetido até um limite máximo de 10 vezes. O teste foi repetido sempre que a ave não alcançasse o alimento nos buracos ou visitasse, em primeiro lugar, outros buracos sem alimento até ao limite máximo total referido. As aves que até esse limite não tivessem sido capazes de atingir o critério de aprendizagem definido foram definidas como não aptas para os testes seguintes.

Um resultado positivo foi definido de acordo com o seguinte: na fase de teste, a ave deve aceder ao alimento, deslocando primeiramente pelo menos três discos da cor certa. O critério de aprendizagem aplicado foi o mesmo empregue nos tutores. As aves que atingiram o critério de aprendizagem apenas realizaram o número de observações até atingirem o dado critério, não sendo necessário realizarem o total de dez observações.

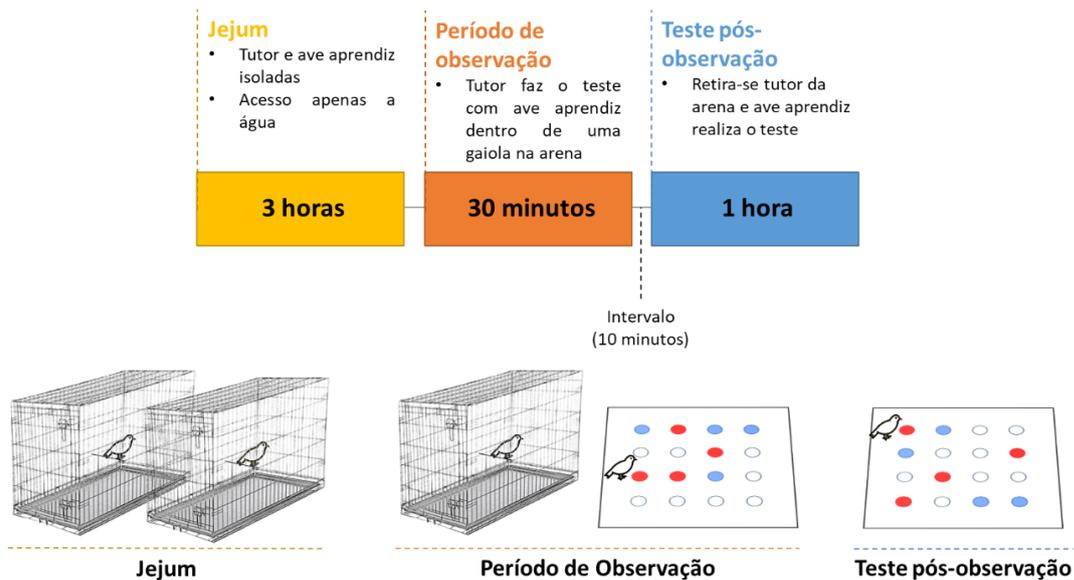


Figura 6 - Escala temporal de uma sessão de observação e pós observação de aves. É igualmente exemplificado a disposição das aves durante as sessões de teste.

4. Testes de retenção de memória

Pretendeu-se avaliar se as aves que concluíram com sucesso o teste anterior eram capazes de reter na sua memória o que haviam aprendido durante a observação dos tutores e depois posto em prática, depois de algumas semanas sem realizar qualquer teste. Após quinze dias da confirmação de aprendizagem por parte das aves que superaram o teste de aprendizagem, as aves foram, de novo, testadas na arena. O teste foi único e teve uma duração de trinta minutos. Registou-se se a ave conseguiu aceder à comida por baixo dos discos da cor com que tinha sido treinada, não tentando aceder aos de outra cor.

5. Testes de Reversão

Este último teste foi realizado apenas com as aves que foram capazes de ultrapassar o teste de retenção de memória. Este teste não é um estudo de 'reversal learning' (Shettleworth & Hampton, 1998) porque foi realizado apenas uma vez e não visava saber se as aves eram capazes de entender a regra e a sua inversão num sentido mais profundo. Pretendeu-se apenas determinar se as aves conseguiam, depois de aprender uma determinada associação (cor-alimento), ultrapassá-la, quando a associação deixasse de funcionar, e se eram capazes de estabelecer uma nova associação, o que será certamente muito importante num ambiente variável e diversificado como aquele em que se alimentam.

Neste teste alterou-se a associação entre a cor do disco e a comida: as aves que tinha uma associação com o vermelho passaram a ter comida apenas nos discos azuis, e vice-versa. Os buracos com cor encontravam-se sempre integralmente cobertos pelos discos. Um limite máximo de dez sessões foi aplicado neste teste, de forma a facilitar a análise e interpretação dos resultados. Os testes foram realizados com um limite máximo de 4 sessões diárias, de trinta minutos cada, com intervalos entre cada sessão de dez minutos. O critério de aprendizagem definido para este teste foi o de que os primeiros três discos visitados teriam de ser os da cor associada à comida, o que neste caso correspondia à inversão da relação que aprenderam nos testes de observação. Assumiu-se que a ave aprendeu a associação no primeiro dos dois testes consecutivos em que realizou a tarefa corretamente.

Análise Estatística

Neste projeto, todos os testes estatísticos foram realizados no software SPSS para Windows (versão 22.00, IBM SPSS Statistics®, 17 Armonk, Nova Iorque, EUA). Antes de se iniciar qualquer análise estatística as variáveis foram testadas quanto à sua normalidade e homogeneidade de variâncias e possíveis *outliers* ou relação entre variáveis. O nível de significância estatístico utilizado durante a análise estatística foi de 0,05. Para reduzir o número de variáveis morfométricas e das dimensões do bico, foram realizadas duas análises de componentes principais (PCAs); de cada uma resultou um componente principal (PC) – PCAcorpo e PCAbico respectivamente - que foram utilizados como preditores nas análises (**Tabelas I e II**).

Tabela I – Factor loadings dos Componentes Principais extraídos das seguintes variáveis: altura do bico, comprimento do bico e largura do bico. Denominado de PCAbico.

Variáveis	Componente Principal
Altura Bico	,787
Comprimento Bico	-,646
Largura Bico	,919

Tabela II - Factor loadings dos Componentes Principais extraídos das seguintes variáveis: medida da asa esquerda, medida da asa direita, medida da cauda e medida do tarso. Denominado de PCAcorpo

Variáveis	Componente Principal
Asa Esquerda	,954
Asa Direita	,907
Cauda	,611
Tarso	,526

Para responder às questões colocadas neste projeto, e determinar se variáveis como o sexo da ave ou do tutor, ou a idade das aves possuem efeito na aprendizagem das aves foi realizado um GLM (Modelo Linear Generalizado) tendo como variável dependente o sucesso de aprendizagem, com distribuição binomial e função log-link. Dada a dimensão da amostra, não foi possível considerar interações entre fatores, estimando-se apenas efeitos principais dos preditores. Também por essa dimensão, decidimos considerar o sexo e a idade separadamente, com a realização de duas análises, cada uma só com ou o sexo da ave ou a sua idade. Procurou-se também responder se o número de sessões que cada ave teve foi diferente em função do sexo ou da idade e para isso realizou-se dois GLMs sendo o número de sessões a variável dependente, com distribuição normal, uma análise para cada fator. Para analisar os resultados obtidos nos testes de retenção de memória, foi realizado um teste não paramétrico binomial direto à variável retenção de memória. O teste de reversão foi

analisado com um GLM com o sucesso no teste como variável dependente com distribuição binomial e função log-link.

Enquadramento Legal

Todos os procedimentos experimentais realizados nas aves estão de acordo com as Leis Portuguesas e Europeias sobre testes científicos em animais. A captura de aves e subsequente manutenção para a realização das experiências deste projeto foi realizada ao abrigo da licença 09/2021/CAPT concedida pelo ICNF, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, I.P., ao Professor Doutor Paulo Jorge Gama Mota. Nenhuma ave foi submetida a qualquer ato de maus-tratos ou malcuidado. Todas as aves foram acompanhadas e monitorizadas, diariamente, durante todo o período em que permaneceram em cativeiro pelo autor deste trabalho. No final dos procedimentos experimentais, todas as aves foram libertas nos mesmos locais onde foram capturadas.

Capítulo III

Resultados

Pré-teste

Na sessão de pré-teste realizada a cada ave, duas das aves testadas foram capazes de deslocar os discos da cor certa (azul) e aceder ao alimento, o que terá acontecido por acaso, resultando apenas do seu comportamento exploratório. No entanto, para confirmar esta mesma hipótese, testaram-se novamente estas duas aves, mas desta vez com alimento por baixo do disco da cor contrária à inicial. Após a realização de nova sessão às duas aves em causa, verificou-se que nenhuma delas visitou qualquer disco para aceder ao alimento, nem aos restantes discos. Assim, concluiu-se que estas aves encontraram o alimento por acaso na primeira sessão e não fizeram qualquer associação alimento-cor. Nenhuma outra ave visitou qualquer disco nos seus testes, seja um disco que tapasse algum buraco com alimento ou que tapasse um buraco vazio.

Testes de formação de tutores

Três aves foram sujeitas às três diferentes fases que são parte dos testes de formação de tutores. As três aves foram capazes de ultrapassar todas as fases com sucesso e foram consideradas como aptas para assumirem o papel de tutores nas sessões de observação (**Figura 7**). As aves demoraram mais tempo a atingir o critério de aprendizagem no teste A, diminuindo substancialmente as sessões necessárias nas fases seguintes (B e C). A ave 92 necessitou, na fase C, de um número de sessões semelhantes ao teste A.

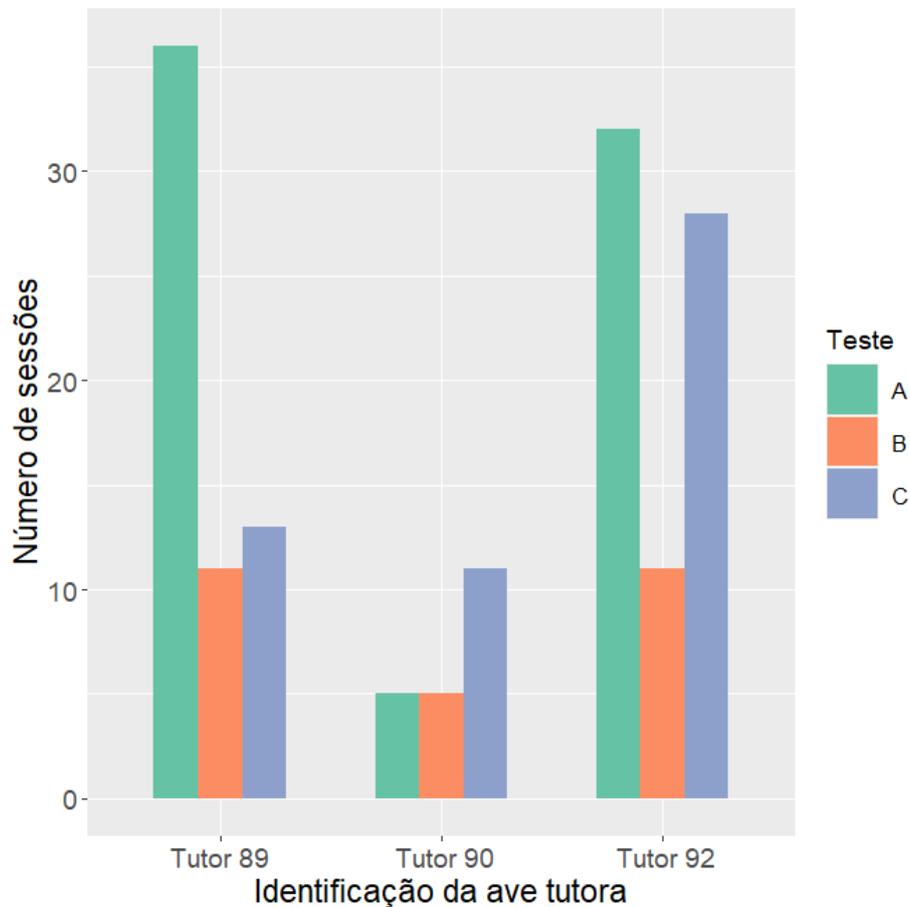


Figura 7 – Representação do número de sessões de cada teste-treino que as aves designadas como tutores realizaram até o concluírem com sucesso. Teste A - disco ao lado do buraco; Teste B - disco cobre quase por completo o buraco; Teste C - disco cobre todo o buraco.

Testes de aprendizagem das aves inexperientes

As aves inexperientes foram sujeitas à observação do tutor a alimentar-se no aparato e testadas imediatamente após aquela observação dos tutores, com os discos a tapar integralmente os buracos e com a mesma associação cor-comida da sessão de observação. Das dezassete aves testadas, nove foram capazes de o cumprir, atingindo o critério de aprendizagem estabelecido e imitaram o comportamento do tutor (**figura 8**). As restantes oito não foram capazes de o fazer. O número de sessões

realizadas por cada ave não mostrou sofrer efeitos significativos nem da idade nem do sexo da ave (**Tabela Sup. III**).

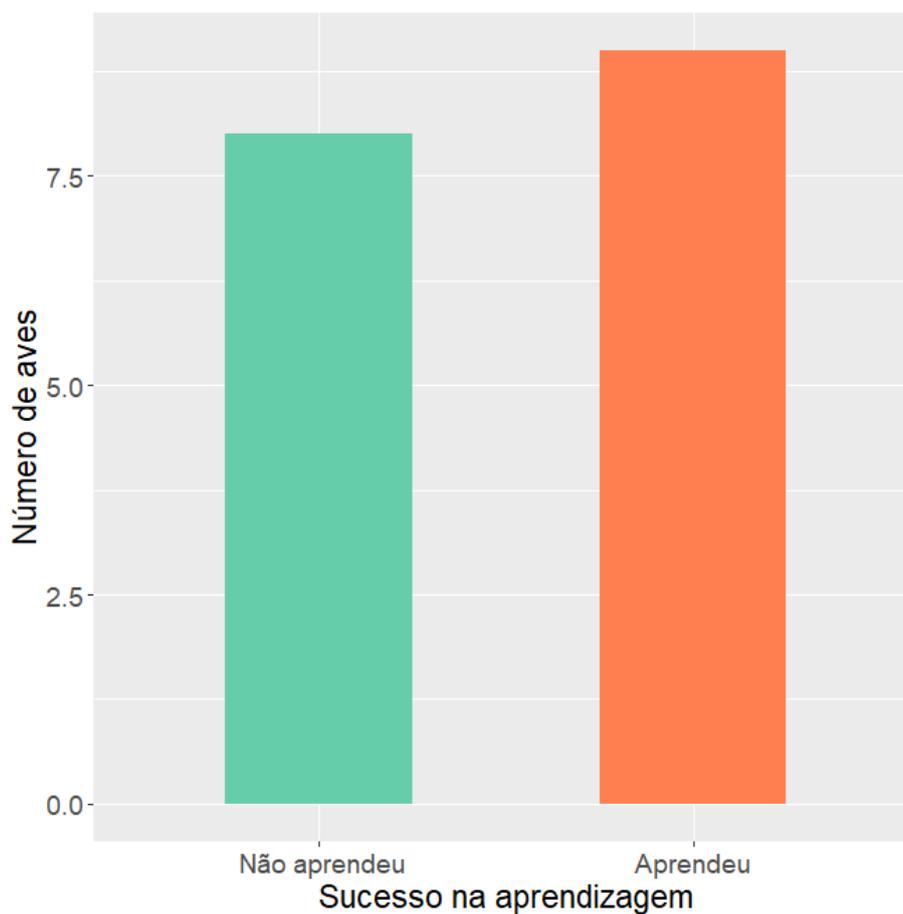


Figura 8 - Gráfico com o número de aves que aprendeu (9) por observação de outras e o número de aves que não aprendeu (8).

Tendo em conta a distribuição por sexo e idade das aves que aprenderam (**Tabela III**) e sendo a nossa amostra limitada, a análise conjunta aos fatores não demonstrou efeitos significativos na aprendizagem das aves (**Tabela Sup. II**).

Tabela III - Distribuição por sexo e idade das aves inexperientes que cumpriram com sucesso a aprendizagem por observação.

	Sexo Masculino	Sexo feminino
Primeiro ano	1	5
Segundo ano	1	2

Na análise realizada com o fator sexo das aves inexperientes (**Tabela IV**), esta variável mostrou ter um efeito significativo sobre a sua capacidade em aprender ($p=0,049$), sendo as aves do sexo feminino as que mais facilmente aprendem (**Tabela V e Figura 9**).

Na análise realizada com o fator idade das aves (**Tabela VI**), esta mostrou ter um efeito significativo sobre a sua capacidade em aprender ($p=0,037$), sendo as aves mais jovens as que mais facilmente aprendem (**Tabela VII e Figura 10**). Os fatores sexo do tutor, PCAcorpo e PCAbico não afetaram de forma significativa a aprendizagem das aves em nenhuma das análises.

Tabela IV- Modelo linear generalizado realizado com o fator sexo da ave inexperiente e retirando o fator idade da ave inexperiente para representar possíveis diferenças de aprendizagem. Itálico denota diferenças significativas.

Variáveis	Wald χ^2	p
Intercetação	,019	,891
Sexo Tutor	,001	,973
<i>Sexo Inexperiente</i>	<i>3,860</i>	<i>,049</i>
PCAcorpo	,021	,891
PCAbico	,000	,998

Tabela V- Médias estimadas do fator sexo da ave inexperiente calculado na análise do Modelo linear generalizado sem o fator idade.

Variáveis	Médias estimadas	Erro Padrão
Sexo Feminino	,79	,143
Sexo Masculino	,23	,156

Tabela VI- Modelo linear generalizado realizado com o fator idade da ave inexperiente e retirando o fator sexo da ave inexperiente para representar possíveis diferenças de aprendizagem. *Itálico* denota diferenças significativas.

Variáveis	Wald χ^2	ρ
Interceptação	,006	,939
Sexo Tutor	,013	,908
<i>Idade</i>	<i>4,344</i>	<i>,037</i>
PCAcorpo	,672	,412
PCAbico	,627	,429

Tabela VII- Médias estimadas do fator idade da ave inexperiente calculado na análise do Modelo linear generalizado sem o fator sexo.

Variáveis	Médias estimadas	Erro Padrão
Primeiro Ano	,80	,141
Segundo Ano	,22	,149

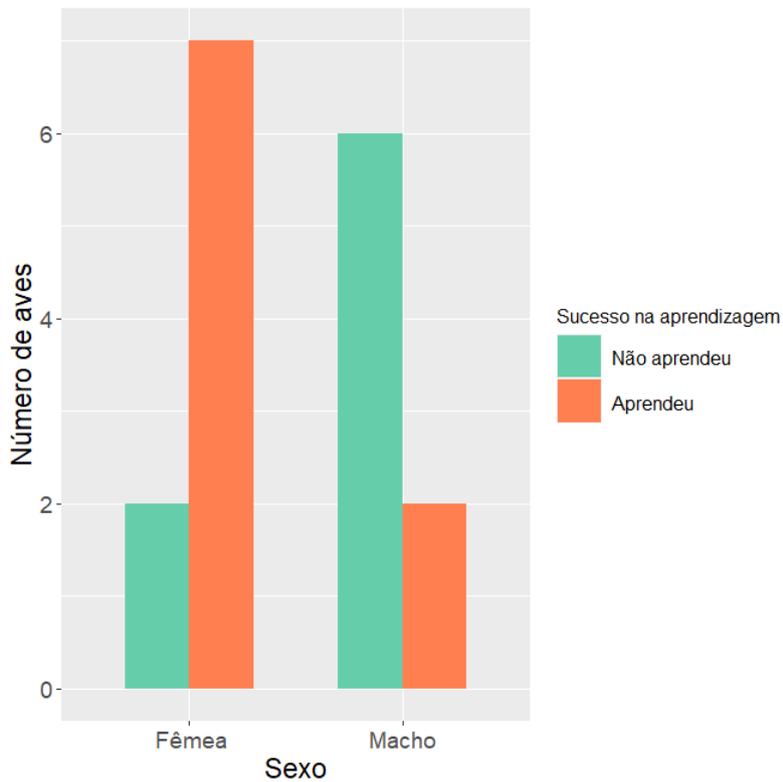


Figura 9 - Gráfico com a distribuição por sexos das aves que aprenderam por observação das outras e das que não aprenderam.

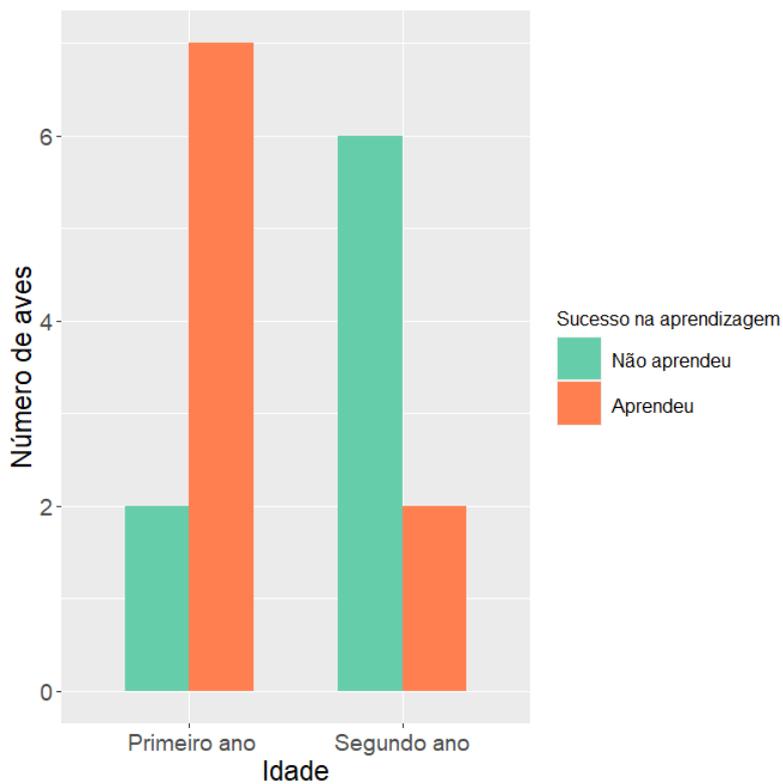


Figura 10 - Gráfico com a distribuição por idades das aves que aprenderam por observação das outras e das que não aprenderam.

Coloração

A análise mostrou não se verificar nenhum efeito significativo da coloração sobre a aprendizagem dos machos (SWS ratio: Wald $\chi^2=0.54$; $df=1$; $p=0.817$). O coeficiente de variação (CV) é de 0.16. Este mostra o grau de variação da coloração na nossa amostra.

Número de sessões para atingir o critério de aprendizagem

O número de sessões realizadas até atingir o critério revelaram possuir um efeito significativo do PCAbico. O mesmo é verificado quer se considere a idade (**Tabela VIII**), quer se considere o sexo (**Tabela IX**). O valor de β do PCAbico em cada uma das análises é positivo, o que indica que as aves com bicos mais fortes e grossos necessitaram de mais sessões até atingir o critério de aprendizagem.

Tabela VIII - Modelo linear generalizado (GLM) sendo o número de sessões, a variável dependente. Análise realizada considerando a idade. Itálico denota diferenças significativas. (PCAbico - $\beta=2,019$)

Variáveis	Wald χ^2	ρ
Interceptação	57,066	,000
SexoTutor	2,874	,090
Idade	,110	,740
PCAcorpo	,738	,390
<i>PCAbico</i>	3,982	,046

Tabela IVX - Modelo linear generalizado (GLM) sendo o número de sessões, a variável dependente. Análise realizada considerando o sexo da ave. Itálico denota diferenças significativas. (PCAbico - $\beta=1,814$)

Variáveis	Wald χ^2	ρ
Interceptação	47,482	,000
SexoTutor	2,475	,116
Sexo Inexperiente	,082	,775
PCAcorpo	,595	,440
<i>PCAbico</i>	<i>4,439</i>	<i>,035</i>

Testes de retenção de memória

Todas as nove aves que cumpriram com sucesso o critério de aprendizagem nos Testes de aprendizagem foram sujeitas ao teste de retenção de memória. Todas as aves realizaram o teste com sucesso (100% de sucesso) (**teste binomial: $p=0.004$**).

Testes de reversão

Os testes de reversão revelaram (**Figura 11**) que quatro aves conseguiram reverter a sua aprendizagem e alcançar o critério de aprendizagem definido. As restantes cinco aves não conseguiram concretizar com sucesso este teste em nenhuma das dez sessões realizadas a cada uma.

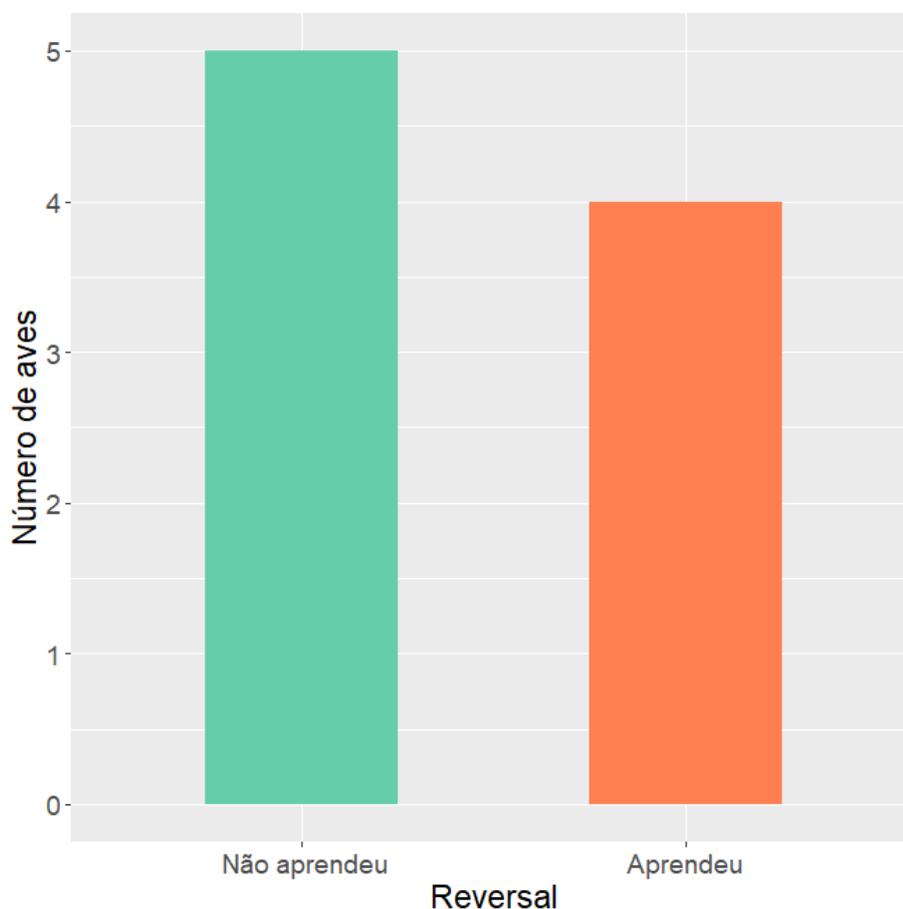


Figura 11 - Gráfico demonstrativo do número de aves que demonstraram ser capazes de reverter uma regra (4 aves) e do número das que não conseguiram (5 aves).

O GLM realizado (**Tabela X**) considerando o sexo do tutor e da ave como preditores, não encontrou qualquer efeito significativo, o que, em parte, se explica pelo tamanho da amostra. Contudo, os valores de p estão muito próximo de 1, sugerindo não haver mesmo qualquer efeito. As aves que foram capazes de aprender a nova regra foram duas fêmeas e dois machos, sendo três deles aves de primeiro ano e a outra ave de dois ou mais anos.

Tabela X - Resultados do teste do modelo linear generalizado (GLM) sendo o sucesso do teste de reversão a variável dependente.

Variáveis	Wald χ^2	<i>p</i>
Intercepção	,000	1,000
SexoInexperiente	,083	,773
Idade	,083	,773

As cinco aves que não foram capazes de cumprir com sucesso o teste de reversão apresentaram comportamentos distintos. Ao não encontrar alimento onde inicialmente estava presente: uma ave encontrou alimento nos buracos com a nova cor associada, contudo nunca deixou de visitar os discos de ambas as cores; duas aves deixaram de visitar o tabuleiro e deixaram de procurar por alimento; as restantes duas aves, nos últimos dois testes associaram a nova regra, contudo o número de discos visitados em cada teste não se aproximou do critério estabelecido, visitando apenas um ou dois discos em ambos os testes.

Após se observar que foi possível a algumas aves aprenderem uma nova regra e esquecer a anterior comparou-se o número de sessões realizadas nas sessões de pós-observação nos testes de aprendizagem das aves inexperientes com os testes de reversão nas aves que foram capazes de cumprir com sucesso ambos os testes realizados (**Figura 12**).

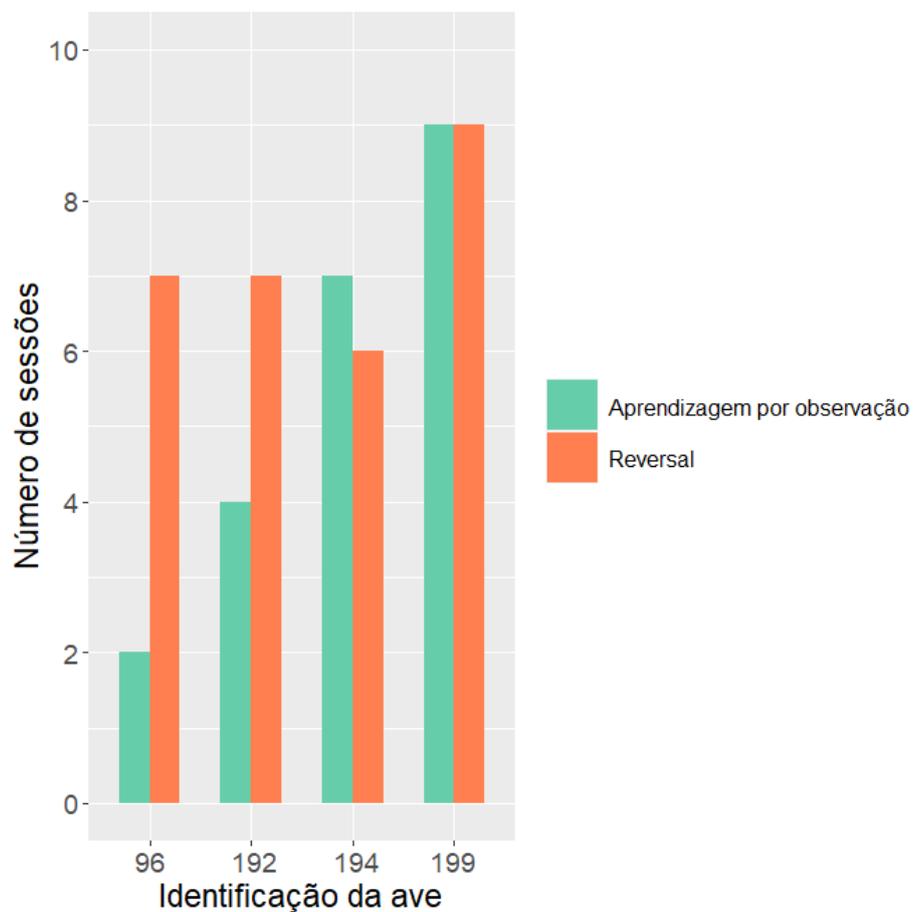


Figura 12 - Gráfico comparativo do número de sessões das aves que conseguiram cumprir com sucesso os dois testes: aprendizagem por observação e do de reversão

Capítulo IV

Discussão

Formação de tutores

Os resultados das experiências realizadas permitem concluir que as milheirinhas são capazes de aprendizagem por associação em testes de procura por alimento, o que não deixa de ser surpreendente uma espécie granívora, que não é caçadora ativa, ser capaz de procurar ativamente por alimento, num contexto em que esta procura é a uma maior distância relativamente ao tipo de plantas de que se alimenta.

As três aves testadas foram capazes de superar todas as fases com sucesso, o que demonstra que é possível treinar indivíduos de *Serinus serinus* a realizarem associações. Este primeiro passo foi fundamental para o desenrolar do nosso trabalho, visto ser importante a existência de tutores para a fase seguinte do nosso estudo. A decisão de dividir este treino às aves em três fases distintas centrou-se na necessidade de garantir ao máximo que as aves seriam capazes de procurar por alimento e realizar a associação cor-comida. A divisão em três testes permitiu que as aves pudessem aprender a associação por etapas até chegarem onde era pretendido. Este processo de aprendizagem foi baseado e adaptado de um trabalho com mandarins (*Taeniopygia guttata*), em que aprenderam a realizar uma associação de cor-alimento num teste idêntico ao nosso, mas com um maior número de etapas, cinco em vez de três (Caves et al., 2018). Outros estudos dividiram também o processo de aprendizagem por associação dos seus tutores em diferentes etapas em que o grau de dificuldade dos testes subiu à medida que as aves foram capazes de concluir as etapas anteriores com sucesso (Aplin et al., 2013; Chantal et al., 2016). O processo de aprendizagem por associação em aves mostra que ao dividir a associação pretendida em etapas preliminares mais simples, as aves são capazes de aprender a realizar a associação pretendida com uma maior facilidade e eficácia.

De uma forma geral, diversos estudos usam tabuleiros com buracos (ou algo similar), alguns deles tapados por objetos coloridos (discos ou outros), para que as aves em estudo sejam capazes de associar uma determinada cor à presença de alimento nesse local. (Ashton et al., 2018; Caves et al., 2018; Heyes & Saggerson, 2002).

Um fator importante que tivemos de ter em conta na realização destes testes foi o período de jejum a que as aves devem ser sujeitas antes do início dos testes. Inicialmente definimos um período de jejum de duas horas. O tempo de jejum permitiu garantir que as aves quando iniciaram os testes estavam estimuladas a procurar por alimento. Contudo, as duas horas de jejum não mostraram ser suficientes para que as aves procurassem por alimento quando os testes se iniciavam. Seguindo outros exemplos da literatura (Caves et al., 2018; Chantal et al., 2016), aumentámos o período de jejum de duas para três horas. Este aumento, associado a uma ligeira diminuição do alimento disponível nos buracos, já permitiu que as milheirinhas procurassem ativamente por alimento quando iniciaram os testes. Esta situação explica o número considerável de testes que as aves realizaram na fase A até atingirem o critério de aprendizagem estabelecido.

Ao passarem para a fase seguinte, o número de testes necessário para atingir o critério diminuiu significativamente o que mostra que as aves já são capazes de associar a relação cor-comida. Na última fase, o número de sessões aumentou ligeiramente em relação à fase anterior, o que pode ser explicado pela confusão que as aves inicialmente possam ter sentido devido aos discos já taparem totalmente os buracos, não sendo por isso possível observarem o alimento. Contudo, facilmente foram capazes de colocar em prática a regra aprendida e, assim, deslocarem-se apenas aos buracos com discos da cor certa. A ave 92 demorou mais tempo nesta terceira fase da sua formação, revelando mais dificuldades em aplicar a regra. Apesar disso, foi capaz de associar a relação cor-alimento.

Devido ao número baixo de aves na amostra obtida, apenas foi possível realizar estes testes a um macho e uma fêmea, contudo a tutora fêmea (ave 92) posteriormente não foi capaz de demonstrar, nos testes de observação, o comportamento que aprendeu anteriormente. Uma nova fêmea foi selecionada para assumir a função de tutor.

Aprendizagem das aves inexperientes

Os nossos resultados surpreendem ao mostrar que aves sem aprendizagem prévia de uma espécie gregária foram capazes de aprender por observação de outras e imitar o comportamento de tutores. Além de mostrar que esta forma de aprender é possível acontecer noutras espécies de aves não sociais como no chapim-azul e no chapim-real, (Aplin et al., 2013, 2015), os resultados demonstram vários aspetos muito interessantes no que diz respeito às capacidades de aprendizagem desta espécie que não é insetívora como as espécies descritas acima, mas sim granívora.

Em primeiro lugar, cerca de metade das aves inexperientes testadas foram capazes de superar com êxito este teste (47% de sucesso). É um valor semelhante à percentagem de sucesso (53%) em chapins azuis capazes de aprender com os outros (Aplin et al., 2013). Estes resultados demonstram o quão difícil é para as aves não sociais aprenderem por observação e, também, a importância da necessidade das aves em possuírem boas competências cognitivas, o que nem todas parecem ter.

Nenhum macho que observou a tutora fêmea foi capaz de nos testes pós observação imitar o comportamento desta, aludindo a um possível efeito do sexo do tutor na capacidade da aprendizagem por observação nos machos. Contudo na análise estatística realizada tal não se veio a confirmar. Este foi um resultado que não vai de acordo com um estudo de transmissão de conhecimentos sobre a manipulação

de uma nova semente, o girassol, em *Serinus canaria* (Cadieu et al., 2010), que mostrou que os machos foram capazes de aprender observando uma demonstradora fêmea na manipulação da semente. Com isso, quisemos perceber se os mesmos quatro machos inexperientes ao observarem o tutor macho seriam capazes de imitar o seu comportamento. Após essa ronda de testes de observação e pós observação aos quatro machos, apenas um foi capaz de imitar o comportamento do tutor macho e atingir o critério de aprendizagem. Estes resultados suportam a análise referida de que o sexo do tutor não tem influência na capacidade de aprendizagem das aves. No estudo sobre a manipulação da nova semente (Cadieu et al., 2010), os autores concluíram, após constatar que os machos mais inovadores eram piores demonstradores e as fêmeas conseguiam transmitir o conhecimento aos machos, que o sexo e as relações sociais entre os indivíduos são cruciais para a transmissão de um novo hábito alimentar em canários. Assim, testes futuros com uma maior amostra de indivíduos podem ajudar a esclarecer de forma mais clara qual o papel do sexo do tutor na capacidade de aprendizagem de aves inexperientes.

Neste estudo, um limite de observações (dez) foi estabelecido pela necessidade de não prolongar indefinidamente esta fase de testes. Ao serem definidos inicialmente diferentes testes a serem realizados em sequência (aprendizagem por observação, teste de retenção de memória e teste de reversão), foi importante estabelecer um limite que tornasse possível, quer logisticamente quer do ponto de vista do desenho experimental, a realização da sequência de experiências. Por sua vez, no caso em que as aves não aprenderam no total de dez testes de observação e pós observação, foi importante preservar o bem-estar dos animais e não prolongar o jejum das aves por longos períodos de tempo durante mais dias, visto que estes períodos longos de jejum causam stress aos animais. De realçar ainda que as aves que não conseguiram aprender nos testes que foram realizados, tiveram um total de cinco horas de observação do tutor e dez horas de exploração da arena onde o

tabuleiro estava inserido. Simultaneamente existiram diversas aves capazes de imitar o comportamento do tutor num número de testes bastante inferior ao limite estipulado, o que suportou a ideia de que o limite escolhido foi adequado. Tal demonstra que há aves capazes de aprender muito mais depressa do que outras e que certamente as aves que não aprenderam, poderiam necessitar muitos mais testes que o limite imposto para conseguirem aprender por observação das outras ou podiam não aprender de todo. O número limite de experimentos neste teste mostrou ser o mais adequado tendo em conta todas as variáveis que precisaram de ser tidas em conta de forma a não prejudicar o desenvolvimento deste estudo.

O sexo das aves inexperientes mostrou ser uma importante variável significativa neste estudo. Os nossos resultados sugerem que as aves do sexo feminino foram aquelas que mais e melhor aprenderam a imitar o comportamento do tutor. Tal facto vai ao encontro dos resultados obtidos num estudo realizado com periquitos australianos em que as fêmeas foram mais capazes de aceder ao alimento do que os machos após observarem um demonstrador (Heyes & Saggerson, 2002). No nosso estudo, cerca de 75% das aves que aprenderam eram fêmeas, um valor ligeiramente superior da percentagem de fêmeas de *Cyanistes caeruleus* (~61%) que aprenderam no total das aves que cumpriram com sucesso o teste de observação a que foram sujeitos e demonstraram aprender com os outros (Aplin et al., 2013). No mesmo estudo, cerca de 30% das aves que imitaram o comportamento eram machos, um resultado semelhante ao obtido neste estudo, cerca de 28%. Estes dados suportam a tese de que são as fêmeas que apresentam maiores capacidades de aprendizagem com os outros, ao contrário dos machos. Apesar da dominância não ter sido analisada neste estudo, (Aplin et al., 2013) refere que o sexo masculino está fortemente correlacionado com a dominância na capacidade de aprendizagem do chapim-azul. No caso das fêmeas não foram evidenciados efeitos da dominância na capacidade de aprender. Relações de hierarquia de dominância e agressividade estão

presentes em *Serinus serinus* (Domènech & Senar, 1999; Senar & Domènech, 2011) quer mesmo num recurso não-sexual como a alimentação (A. V. Leitão et al., 2015). É importante ainda referir que, no nosso estudo, o facto de as aves inexperientes não terem permanecido na arena juntamente com o tutor no desenho escolhido teve como objetivo evitar que possíveis fatores de dominância pudessem influenciar a capacidade de aprendizagem das aves. Esta decisão teve igualmente por base um trabalho realizado em canários (Cadieu et al., 2010) que mostra que numa interação livre com o demonstrador na manipulação de uma nova semente, apenas às fêmeas era transmitido o novo hábito alimentar. Por sua vez, nos machos esta transmissão só ocorreu se demonstrador e observador estivessem em divisões distintas separados por uma parede transparente. Quando os machos (demonstrador e observador) eram colocados na arena, permitindo interações livres, existiram comportamentos agressivos de parte a parte que impossibilitaram a realização dos testes. De modo a evitar a possibilidade da ocorrência de situações como a anteriormente referida, optou-se por todas as aves inexperientes observarem os tutores isoladas numa gaiola. Tendo todos estes fatores em conta, estudos futuros devem considerar o estudo de possíveis relações entre a capacidade em aprender com os outros com efeitos de dominância intra e intersexo nas milheirinhas.

Durante a realização das sessões de observação, um tutor (ave 92, fêmea) permaneceu durante a maioria do período de observação afastado do tabuleiro. Este afastamento e inoperância da ave tutora pode estar relacionada com uma eventual ansiedade sentida pela presença de outras aves isoladas nas gaiolas a observarem-na. Tal poderá ter desencadeado o comportamento ansioso que tomou em quase não visitar mais o tabuleiro durante as sessões de observação, o que obrigou a ser substituída por outra fêmea tutora. Este facto leva-nos a questionar sobre a possibilidade de os traços de personalidade apresentarem algum efeito na capacidade do tutor em demonstrar o comportamento aprendido. Estudos demonstram a

existência de efeitos na personalidade das milheirinhas afeta a escolha do par (A. M. V. Leitão, 2011); por outro lado, em canários (*Serinus canaria*) foi demonstrado que fêmeas observadoras, menos agressivas que os machos, não foram ousadas o suficiente para conseguir manusear corretamente sementes de maior tamanho, como as do girassol (Cadieu et al., 2010). Ainda no mesmo trabalho, os machos ousados foram os mais inovadores, porém não tão eficazes quando assumiram o papel de demonstradores para outras aves do mesmo sexo. Tendo estes dados em conta, não pode ser descartar a possibilidade de traços de personalidade no tutor afetarem a aprendizagem por observação. É uma questão que se coloca e que estudos futuros devem considerar tentar responder.

A capacidade de aprendizagem por observação das milheirinhas parece estar fortemente relacionada com a idade das aves inexperientes. Aves adultas de primeiro ano demonstraram uma alta capacidade em prestar atenção ao comportamento dos tutores e, posteriormente, imitarem o seu comportamento. As aves com dois ou mais anos mostraram uma maior dificuldade em processar ou apreender a informação relevante e imitar o comportamento dos tutores. O mesmo se sucede nos chapins azuis e nos chapins reais (Aplin et al., 2013, 2015) em que são as aves mais jovens, tanto juvenis como jovens adultos, que apresentam melhores performances em testes de aprendizagem por observação do que as aves mais velhas. Estas evidências demonstram que, possivelmente, quanto mais velhas as aves são, menos atentas estão aquilo que outras fazem. Tal traduz-se na diminuição da capacidade de aprendizagem com os outros que pode ser explicada pelo facto de as aves mais velhas virem a viver menos tempo que as mais novas e por isso não se focam tanto na observação do que outras aves fazem.

Características do bico

Os nossos resultados mostram que o bico tem um efeito no número de sessões que as aves necessitam até atingir o critério de aprendizagem. As aves com bicos mais fortes e grossos foram aquelas que mais sessões necessitaram. O bico foi fundamental para as aves, já que este é utilizado para mover os discos de forma a aceder ao alimento e alimentarem-se. As aves com a forma do bico referida demonstraram ter tido mais dificuldades em conseguir mover os discos. Contudo, as características dos discos não se apresentaram como um fator limitante na capacidade de as aves aprenderem com os outros já que estas foram capazes de mover os discos e aceder ao alimento.

Coloração e a Aprendizagem

A coloração nos machos de *Serinus serinus* é possível graças aos carotenoides obtidos através da dieta. É desta forma que os machos conseguem ter amarelos tão vivos na sua plumagem (A. V. Leitão & Mota, 2015). Por sua vez, a coloração também se apresenta como uma medida do estado de saúde das aves (Mateos-Gonzalez et al., 2011). Tendo a coloração um papel fulcral na escolha do par (A. V. Leitão et al., 2014, 2015; Trigo & Mota, 2015), estudámos qual será o efeito da coloração na capacidade de aprendizagem desta espécie. E porquê? Porque sendo um dos propósitos da aprendizagem pelos outros aumentar a eficácia alimentar das aves através do uso das capacidades cognitivas dos machos, os que conseguem aprender vão ingerir uma maior quantidade de alimento. Como os carotenoides que suportam a coloração nos machos são ingeridos através na alimentação, podem, os machos com melhores performances cognitivas serem os mais coloridos? Pode existir alguma relação entre a coloração nos machos e a sua capacidade de aprendizagem?

Um estudo em *Carduelis spinus* mostrou que os machos que resolveram mais rapidamente testes de procura por alimento apresentavam riscas mais longas amareladas nas asas (Mateos-Gonzalez et al., 2011).

No caso das milheirinhas, a coloração não mostrou ter efeito na capacidade de aprendizagem dos machos. Contudo, devido ao curto tamanho da nossa amostra (8 machos) consideramos que esta não pode ser uma conclusão definitiva. Por outro lado, o coeficiente de variação na coloração dos machos foi baixo (0,16), havendo pouca variação na nossa amostra quanto aos níveis de coloração dos machos analisados.

Retenção de memória

As aves que aprenderam a realizar a tarefa por observação de outras foram retestadas mais tarde e mostraram terem retido essa capacidade, demonstrando serem capazes de reter uma aprendizagem na sua memória por, pelo menos, quinze dias após a confirmação da aprendizagem. Este é um número de dias três vezes maior do que os cinco dias registados num estudo em *Poecile gambeli* (Tello-Ramos et al., 2018). Um outro trabalho estudou a capacidade de retenção de memória a 5, 15 e 45 dias de outras duas espécies de passeriformes, a codorniz-da-china (*Coturnix chinensis*) e em *Lonchura striata* var. *domestica*, vulgarmente conhecido como manon (Ueno & Suzuki, 2014). Contudo, as aves de cada espécie realizaram apenas dois períodos de teste da sua capacidade de retenção. Metade das aves das duas espécies foi testada ao quinto e ao quadragésimo-quinto dia, enquanto a outra metade foi testada ao decimo-quinto e ao quadragésimo-quinto dia. Os resultados demonstraram que todas as aves retiveram na sua memória o comportamento inicialmente aprendido a 5 e a 15 dias. Contudo após os 45 dias, apenas os indivíduos da espécie *Lonchura striata* var. *domestica* ainda retinham na sua memória a

aprendizagem inicial. As codornizes-da-china já não retinham na sua memória o comportamento obtido. Apesar de neste estudo as aves terem a possibilidade de realizar 20 sessões no dia em que a sua capacidade de retenção de memória era testada, ao contrário do realizado no nosso estudo em que apenas se realizou um teste a cada ave, é notório que diferentes espécies de passeriformes são capazes de reter na sua memória um comportamento aprendido.

A capacidade de retenção de memória numa espécie como as milheirinhas é muito importante tendo em conta fatores como a vida curta que estas aves têm e, também, o facto de serem aves com características oportunistas na sua alimentação, aproveitando todas as oportunidades que conseguem obter para se alimentarem. Esta capacidade de retenção permite assim que sejam capazes de regressar a um mesmo local passados diversos dias e procurem por alimento nos locais onde anteriormente sabiam que existia.

Em estudos futuros é importante estudar mais acerca do tempo que *Serinus serinus* demonstra apresentar retenção de memória e aprofundar o conhecimento sobre os benefícios que uma espécie granívora e oportunista pode obter com esta capacidade. Conseguirá reter por 45 ou mais dias uma aprendizagem na sua memória como o manon, que é uma ave socialmente gregária? Ou será que apresenta uma capacidade de retenção de memória inferior?

Testes de reversão

Perante a ausência de alimento onde anteriormente estava presente, alguns animais foram capazes de procurar por alimento noutros locais. Ao encontrarem e fixarem as suas deslocações apenas aos novos locais, demonstraram ser capazes de aprender uma nova regra. Podemos assim afirmar que foi possível a estas aves

reverterem o seu comportamento de forma a fixarem-se na nova característica presente, a nova cor que foi associada à presença de alimento. Esta descoberta é surpreendente ao revelar que um passeriforme granívoro e gregário pode reverter uma aprendizagem aprendida, algo aparentemente desconhecido até hoje. Este é um resultado que pode abrir diversas portas no estudo das capacidades cognitivas destas espécies.

Outras espécies também são capazes de reverter associações. As fêmeas dos *guppies* (*Poecilia reticulata*), uma espécie de peixe, demonstraram ser capazes de alterar uma associação cor-alimento, estando esta capacidade relacionada com o tamanho do cérebro dos indivíduos (Buechel et al., 2018) contudo este não influencia as estratégias de aprendizagem nesta espécie em testes de reversal learning (Boussard et al., 2020). Apesar do tamanho do cérebro não ser uma variável em estudo no nosso estudo, não é possível deixar de realçar a capacidade desta espécie alterar uma regra que anteriormente aprendeu. Por sua vez, um estudo em *Parus major* mostrou que esta espécie também consegue alterar uma associação anteriormente aprendida e consolidada, tanto em aves selvagens como em aves de cativeiro (Cauchoix et al., 2017). Isto demonstra que o habitat onde uma ave se encontra não impede que seja capaz de reverter uma aprendizagem, porém aves em cativeiro apresentaram uma taxa de sucesso de 100% ao contrário do verificado nas aves selvagens (63%). No nosso estudo, todas as aves eram selvagens o que pode justificar que pouco menos de metade das aves testadas nesta fase tenham sido capazes de reter a associação. Um estudo conjunto em *Gallus gallus domesticus* e *Corvus corone* demonstrou que ambas as espécies foram capazes de reverter uma associação. Contudo a pequena amostra existente não permitiu que fossem observados efeitos na capacidade de aprendizagem nestas duas espécies (Wascher et al., 2021). Este fator limitante também se verificou no nosso estudo. O facto de apenas nove aves terem sido submetidas a este teste pode explicar o porquê de não

terem sido observados quaisquer efeitos nem do sexo nem da idade, (como na aprendizagem por observação) que ajudem a explicar os resultados obtidos. Contudo, os valores das probabilidades da análise GLM associadas ao sexo e à idade das aves são muito altos, estando próximo de 1, sugerindo mesmo que não há qualquer efeito destas duas variáveis na capacidade das aves reverterem uma regra.

Apesar de uma amostra pequena, o nosso estudo permitiu verificar que as aves não se sentiram perturbadas pela aprendizagem inicial e que já não se verificava, o que é expetável acontecer tendo em conta o ambiente tão variável onde se alimentam. São exemplos dessa volatilidade ambiental o avanço do estudo de maturação das culturas onde se alimentam, causas antropogénicas, como por exemplo a colheira das culturas, e ainda razões meteorológicas, como fortes chuvas ou secas, que tornam o alimento disponível escasso. Tudo isto justifica a constante mudança nos locais onde se alimentam e a capacidade das aves se adaptarem a uma nova regra sem se sentirem perturbadas.

Das cinco aves que não atingiram o critério nos dez testes realizados, uma ave não conseguiu desligar-se da regra anterior apesar de ter sido capaz de encontrar alimento na nova associação cor-comida, contudo nunca deixou de visitar os discos de ambas as cores. Ao não ser capaz de aprender a nova regra, tal mostra mais uma vez a dificuldade que o teste apresenta. Outras duas aves desligaram-se da regra anterior deixando de visitar por completo o tabuleiro – uma delas morreu no dia seguinte ao quarto teste realizado, mas no terceiro e quarto teste não visitou o tabuleiro. Por fim, outras duas aves conseguiram nos últimos dois testes associar a nova regra, contudo o número de discos visitados em cada teste não se aproximou do critério estabelecido. Possivelmente com mais alguns testes para lá do limite, as duas seriam capazes de inverter a regra por completo. Tal demonstra que existem aves que aprendem mais depressa do que outras.

Assim é importante, em estudos futuros, analisar a capacidade destes animais em reverterem uma regra, mas com uma maior amostra de forma a esclarecer com clareza se o sexo ou a idade dos indivíduos têm algum efeito na sua aprendizagem em testes de reversão de regra.

Notas finais

Com este trabalho, novas portas se abrem e novas questões se levantam sobre as capacidades cognitivas de espécies de aves gregárias e não sociais e o papel que têm na ecologia deste grupo de aves. Novos desafios surgem sobre o papel que a imitação tem na capacidade destas aves em aumentarem a sua eficácia alimentar e naquilo que o custo deste sinal pode traduzir quer para o demonstrador quer para o observador. A idade e o sexo das aves observadoras mostraram ter um papel crucial na capacidade de aprendizagem por observação em *Serinus serinus*, sendo o sexo feminino aquele que apresenta melhor capacidade de aprendizagem com os outros e as aves mais novas são aquelas que melhor aprendem. Quer isto dizer que as aves fêmeas e jovens são aquelas que apresentam melhores performances cognitivas na sua capacidade em aprender por observação.

Tendo sido demonstrado que uma espécie gregária e granívora é capaz de aprendizagem por observação e que tanto machos como fêmeas conseguem aprender, é interessante estudar se pode, ou não, existir um efeito das capacidades cognitivas dos machos na escolha do par por parte das fêmeas. Estudos demonstram que machos com piores performances cognitivas na resolução de exercícios são preteridos pelas fêmeas que escolhem machos cognitivamente mais desenvolvidos (Chantal et al., 2016; Chen et al., 2019). Sendo possível aos machos aprenderem com os outros, será que machos gregários e granívoros que cumpram com sucesso um teste, como o teste de aprendizagem realizado neste estudo, são maioritariamente escolhidos pelas fêmeas quando comparados com machos que não conseguiram aprender? Qual o papel da aprendizagem na seleção sexual numa espécie como *Serinus serinus*? Será que apresentará resultados que vão de acordo com o foi descrito nos mandarins (*Taeniopygia guttata*) e em (*Melopsittacus undulatus*, os periquitos-australianos? (Chantal et al., 2016) (Chen et al., 2019), respetivamente.

A capacidade de retenção desta espécie é evidente, sendo interessante aprofundar o conhecimento sobre a mesma, dada a importância que esta tem em aves de vida curta como as milheirinhas e no aumento da eficácia alimentar. Será que estas aves conseguem relembrar o local onde se alimentaram anteriormente e regressar ao mesmo, várias semanas depois, em busca de alimento?

Com os resultados obtidos no teste de reversão em que as aves demonstraram não se sentirem perturbadas pela mudança que ocorreu, algumas questões se colocam. Numa amostra maior de aves será possível inferir com mais clareza sobre a existência de algum efeito na capacidade destas em reverter e aprender uma nova regra. Será que, como na aprendizagem por observação, o sexo e/ou a idade dos indivíduos irão apresentar efeitos na capacidade em aprender? Ou poderá existir efeitos de outras variáveis não consideradas neste estudo? Será que as milheirinhas, ao serem capazes de se adaptar a uma mudança e serem capazes de reverter uma regra, serão igualmente capazes de demonstrar reversal learning? Uma janela de oportunidade se abre para permitir o estudo da existência ou não desta capacidade de aprendizagem em passeriformes gregários e granívoros.

Por fim, o estudo sobre a forma como o ambiente e as alterações do meio podem alterar a capacidade de alimentação é essencial. Atualmente, a milheirinha (*Serinus serinus*) encontra-se numa tendência de declínio gritante no número de indivíduos na Europa (BirdLife International, 2021; Pan-European & Scheme, 2021). Fatores como o aquecimento global e consequentes alterações climáticas estão a levar a situações de escassez de alimento devido à maturação mais acelerada de produtos agrícolas que aliada à intervenção antropogénica, muito rapidamente modifica o habitat onde as aves se alimentam de um dia para o outro em áreas muito grandes o que em casos extremos pode levar à morte dos animais. Assim, com o declínio que se evidencia desta espécie na Europa, é essencial continuar à procura da chave para entender como passeriformes granívoros e gregários são capazes de

maximizar a sua eficiência alimentar. Tendo em conta os desafios que atualmente atravessam e os que se avizinham com as alterações climáticas que podem levar a uma maior escassez de alimento e ao desaparecimento desta espécie, de que forma a aprendizagem social pode ser o passo para ajudar a inverter esta tendência? As capacidades cognitivas de cada indivíduo, como a capacidade de reter informação por longos períodos de tempo ou a capacidade em aprender ao observar outros devem ter certamente um papel fulcral nesta capacidade de adaptação e de inversão na tendência de declínio das milheirinhas. É cada vez mais importante estudar e aprofundar os conhecimentos nesta área de forma a criar medidas que contrariem os atuais desafios e aqueles que se avizinham para esta e para outras espécies granívoras e não sociais.

Referências Bibliográficas

- Aplin, L. M., Farine, D. R., Morand-Ferron, J., Cockburn, A., Thornton, A., & Sheldon, B. C. (2015). Experimentally induced innovations lead to persistent culture via conformity in wild birds. *Nature*, *518*(7540), 538–541. <https://doi.org/10.1038/nature13998>
- Aplin, L. M., Sheldon, B. C., & Morand-Ferron, J. (2013). Milk bottles revisited: Social learning and individual variation in the blue tit, *Cyanistes caeruleus*. *Animal Behaviour*, *85*(6), 1225–1232. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.03.009>
- Ashton, B. J., Ridley, A. R., Edwards, E. K., & Thornton, A. (2018). Cognitive performance is linked to group size and affects fitness in Australian magpies. *Nature*, *554*(7692), 364–367. <https://doi.org/10.1038/nature25503>
- Bandura, A., Adams, N. E., & Beyer, J. (1977). Cognitive processes mediating behavioral change. *Journal of Personality and Social Psychology*, *35*(3), 125–139.
- Becker, R. A., Chambers, J. M., & Wilks, A. R. (1988). *The New S Language*. Wadsworth & Brooks/Cole.
- BirdLife International. (2021). *Species factsheet: Serinus serinus*. <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/european-serin-serinus-serinus>
- Bond, A. B., Kamil, A. C., & Balda, R. P. (2007). Serial Reversal Learning and the Evolution of Behavioral Flexibility in Three Species of North American Corvids (*Gymnorhinus cyanocephalus*, *Nucifraga columbiana*, *Aphelocoma californica*). *Journal of Comparative Psychology*, *121*(4), 372–379. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.121.4.372>
- Boogert, N. J., Anderson, R. C., Peters, S., Searcy, W. A., & Nowicki, S. (2011). Song repertoire size in male song sparrows correlates with detour reaching, but not with other cognitive measures. *Animal Behaviour*, *81*(6), 1209–1216. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.03.004>
- Borrelli, L., Chiandetti, C., & Fiorito, G. (2020). A standardized battery of tests to measure *Octopus vulgaris*' behavioural performance. *Invertebrate Neuroscience*, *20*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10158-020-0237-7>
- Boussard, A., Buechel, S. D., Amcoff, M., Kotrschal, A., & Kolm, N. (2020). Brain size does not predict learning strategies in a serial reversal learning test. *Journal of Experimental Biology*, *223*(15), 1–8. <https://doi.org/10.1242/jeb.224741>
- Buechel, S. D., Boussard, A., Kotrschal, A., van Der Bijl, W., & Kolm, N. (2018). Brain size affects performance in a reversal-learning test. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *285*(1871). <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2031>
- Bugnyar, T., & Kotrschal, K. (2002). Observational learning and the raiding of food caches in ravens, *Corvus corax*: Is it “tactical” deception? *Animal Behaviour*, *64*(2), 185–195. <https://doi.org/10.1006/anbe.2002.3056>
- Cadiou, N., Fruchard, S., & Cadiou, J. C. (2010). Innovative individuals are not always the best demonstrators: Feeding innovation and social transmission in *Serinus canaria*. *PLoS ONE*, *5*(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008841>
- Cauchoix, M., Hermer, E., Chaine, A. S., & Morand-Ferron, J. (2017). Cognition in the field: Comparison of reversal learning performance in captive and wild passerines. *Scientific Reports*, *7*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13179-5>

- Caves, E. M., Green, P. A., Zippel, M. N., Peters, S., Johnsen, S., & Nowicki, S. (2018). Categorical perception of colour signals in a songbird. *Nature*, *560*(7718), 365–367. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0377-7>
- Chantal, V., Gibelli, J., & Dubois, F. (2016). Male foraging efficiency, but not male problem-solving performance, influences female mating preferences in zebra finches. *PeerJ*, *2016*(8). <https://doi.org/10.7717/PEERJ.2409>
- Chen, J., Zou, Y., Sun, Y. H., & Ten Cate, C. (2019). Problem-solving males become more attractive to female budgerigars. *Science*, *363*(6423), 166–167. <https://doi.org/10.1126/science.aau8181>
- Cramp, S., & Brooks, D. J. (1992). *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. The birds of the western Palearctic, vol. VI. Warblers*. Oxford university press.
- Domènech, J., & Senar, J. C. (1999). Are foraging serin *Serinus serinus* females more vigilant than males?: The effect of sex ratio. *Ardea*, *87*(2), 277–283.
- Evans, S. R., Hinks, A. E., Wilkin, T. A., & Sheldon, B. C. (2010). Age, sex and beauty: Methodological dependence of age- and sex-dichromatism in the great tit *Parus major*. *Biological Journal of the Linnean Society*, *101*(4), 777–796. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2010.01548.x>
- Fisher, J., & Hinde, R. A. (1949). The opening of milk bottles by birds. *Brit. Birds*, *42*, 347–357.
- Galef, B. G., & Laland, K. N. (2005). Social learning in animals: Empirical studies and theoretical models. *BioScience*, *55*(6), 489–499. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0489:SLIAES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0489:SLIAES]2.0.CO;2)
- Gowda, S. D., Stein, B. S., Mohaghehpour, N., Benike, C. J., Engleman, E. G., Fiorito, G., Scotto, P., & Fiorito, G. (1989). Observational Learning in *Octopus vulgaris*. *J. Exp. Med*, *244*(1989), 277. <https://pdfs.semanticscholar.org/fb45/f59b465a1efd83a80d2d4593fad241ca3486.pdf>
- Griffin, A. S., Diquelou, M., & Perea, M. (2014). Innovative problem solving in birds: A key role of motor diversity. *Animal Behaviour*, *92*, 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.04.009>
- Griffin, A. S., Guillette, L. M., & Healy, S. D. (2015). Cognition and personality: An analysis of an emerging field. *Trends in Ecology and Evolution*, *30*(4), 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.01.012>
- Guillette, L. M., Morgan, K. V., Hall, Z. J., Bailey, I. E., & Healy, S. D. (2014). Food preference and copying behaviour in zebra finches, *Taeniopygia guttata*. *Behavioural Processes*, *109*(PB), 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2014.04.013>
- Guillette, L. M., Scott, A. C. Y., & Healy, S. D. (2016). Social learning in nest-building birds: A role for familiarity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *283*(1827). <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.2685>
- Hart, N. S., Partridge, J. C., Cuthill, I. C., & Bennett, A. T. D. (2000). Visual pigments, oil droplets, ocular media and cone photoreceptor distribution in two species of passerine bird: the blue tit (*Parus caeruleus* L.) and the blackbird (*Turdus merula* L.). *Journal of Comparative Physiology A*, *186*(4), 375–387. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s003590050437>

- Hastad, O., Victorsson, J., Odeen, A., & Ödeen, A. (2005). Differences in color vision make passerines less. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(18), 3–6.
- Heyes, C. M., & Saggerson, A. (2002). Testing for imitative and nonimitative social learning in the budgerigar using a two-object/two-action test. *Animal Behaviour*, *64*(6), 851–859. <https://doi.org/10.1006/anbe.2002.2002>
- Horner, V., & Whiten, A. (2005). Causal knowledge and imitation/emulation switching in chimpanzees (*Pan troglodytes*) and children (*Homo sapiens*). *Animal Cognition*, *8*(3), 164–181. <https://doi.org/10.1007/s10071-004-0239-6>
- Izawa, E. I., & Watanabe, S. (2011). Observational learning in the large-billed crow (*Corvus macrorhynchos*): Effect of demonstrator-observer dominance relationship. *Interaction Studies*, *12*(2), 281–303. <https://doi.org/10.1075/is.12.2.05iza>
- Keynan, O., Ridley, A. R., & Lotem, A. (2015). Social foraging strategies and acquisition of novel foraging skills in cooperatively breeding Arabian babblers. *Behavioral Ecology*, *26*(1), 207–214. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru181>
- Leitão, A. V., Ferreira, A. C., Funghi, C., Trigo, S., & Mota, P. G. (2015). Evidence for multiple functions in a sexually selected ornament. *Animal Behaviour*, *110*, 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2015.09.025>
- Leitão, A. M. V. (2011). *Sexual selection: the influence of personality, behavioural and ornamental traits in the mate choice of Serin (Serinus serinus)* [University of Coimbra]. [https://eg.uc.pt/bitstream/10316/30822/1/Tese Ana Leitão 2009101686.pdf](https://eg.uc.pt/bitstream/10316/30822/1/Tese%20Ana%20Leit%C3%A3o%202009101686.pdf)
- Leitão, A. V., Monteiro, A. H., & Mota, P. G. (2014). Ultraviolet reflectance influences female preference for colourful males in the European serin. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *68*(1), 63–72. <https://doi.org/10.1007/s00265-013-1623-5>
- Leitão, A. V., & Mota, P. G. (2015). Colourful male European Serins *Serinus serinus* are more careful with their plumage. *Ibis*, *157*(3), 637–641. <https://doi.org/10.1111/ibi.12257>
- Maia, R., Eliason, C. M., Bitton, P. P., Doucet, S. M., & Shawkey, M. D. (2013). pavo: An R package for the analysis, visualization and organization of spectral data. *Methods in Ecology and Evolution*, *4*(10), 906–913. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12069>
- Manrique, H. M., Völter, C. J., & Call, J. (2013). Repeated innovation in great apes. *Animal Behaviour*, *85*(1), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.10.026>
- Mason, J. R., & Reidinger, R. F. (1981). Effects of social facilitation and observational learning on feeding behavior of the red-winged blackbird (*Agelaius Phoeniceus*). *Behaviour*, *October*, 778–784.
- Mateos-Gonzalez, F., Quesada, J., & Senar, J. C. (2011). Sexy birds are superior at solving a foraging problem. *Biology Letters*, *7*(5), 668–669. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0163>
- Morand-Ferron, J., Hamblin, S., Cole, E. F., Aplin, L. M., & Quinn, J. L. (2015). Taking the operant paradigm into the field: Associative learning in wild great tits. *PLoS ONE*, *10*(8), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133821>
- Mota, P. G. (1995). *Ecologia comportamental da reprodução no serino (Serinus serinus, Aves: Fringillidae)*. Universidade de Coimbra.

- Myowa-Yamakoshi, M., & Matsuzawa, T. (2000). Imitation of intentional manipulatory actions in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology*, *114*(4), 381–391. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.114.4.381>
- Pan-European, & Scheme, C. B. M. (2021). *Species trends and indicators. Serinus serinus*. <https://pecbms.info/trends-and-indicators/species-trends/sort/taxonomy/all/yes/species/serinus-serinus/?search=Serinus>
- Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned reflexes: an investigation of the physiological activity of the cerebral cortex*. Oxford Univ. Press.
- Price, E. E., Lambeth, S. P., Schapiro, S. J., & Whiten, A. (2009). A potent effect of observational learning on chimpanzee tool construction. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *276*(1671), 3377–3383. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0640>
- Renner, E., Abramo, A. M., Karen Hambricht, M., & Phillips, K. A. (2017). Insightful problem solving and emulation in brown capuchin monkeys. *Animal Cognition*, *20*(3), 531–536. <https://doi.org/10.1007/s10071-017-1080-z>
- Ripley, B. D. (1987). *Stochastic simulation*. Wiley.
- Senar, J. C., & Domènech, J. (2011). Sex-specific aggression and sex ratio in wintering finch flocks: Serins and siskins differ. *Acta Ethologica*, *14*(1), 7–11. <https://doi.org/10.1007/s10211-010-0084-3>
- Shettleworth, S. J. (2009). *Cognition, evolution, and behavior*. Oxford university press.
- Shettleworth, S. J., & Hampton, R. . (1998). Adaptive specializations of spatial cognition in food-storing birds? Approaches to testing a comparative hypothesis. In *Animal Cognition in nature* (pp. 65–98). Academic Press.
- Tello-Ramos, M. C., Branch, C. L., Pitera, A. M., Kozlovsky, D. Y., Bridge, E. S., & Pravosudov, V. V. (2018). Memory in wild mountain chickadees from different elevations: comparing first-year birds with older survivors. *Animal Behaviour*, *137*, 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.12.019>
- Templeton, J. J., & Giraldeau, L. A. (1996). Vicarious sampling: the use of personal and public information by starlings foraging in a simple patchy environment. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *38*(2), 105–114.
- Thonhauser, K. E., Gutnick, T., Byrne, R. A., Kral, K., Burghardt, G. M., & Kuba, M. J. (2013). Social learning in Cartilaginous fish (stingrays *Potamotrygon falkneri*). *Animal Cognition*, *16*(6), 927–932. <https://doi.org/10.1007/s10071-013-0625-z>
- Tomasello, M. (1996). Do Apes Ape? In C. M. Heyes & B. G. Galef (Eds.), *Social Learning in Animals* (pp. 319–346). Academic Press.
- Trigo, S., & Mota, P. G. (2015). What is the value of a yellow patch? Assessing the signalling role of yellow colouration in the European serin. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *69*(3), 481–490. <https://doi.org/10.1007/s00265-014-1860-2>
- Ueno, A., & Suzuki, K. (2014). Comparison of learning ability and memory retention in altricial (Bengalese finch, *Lonchura striata* var. *domestica*) and precocial (blue-breasted quail, *Coturnix chinensis*) birds using a color discrimination task. *Animal Science Journal*, *85*(2), 186–192. <https://doi.org/10.1111/asj.12092>
- van de Waal, E., Claidière, N., & Whiten, A. (2013). Social learning and spread of alternative means of opening an artificial fruit in four groups of vervet monkeys. *Animal Behaviour*, *85*(1), 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.10.008>

- van de Waal, E., Claidière, N., & Whiten, A. (2015). Wild vervet monkeys copy alternative methods for opening an artificial fruit. *Animal Cognition*, 18(3), 617–627. <https://doi.org/10.1007/s10071-014-0830-4>
- Wascher, C. A. F., Allen, K., & Szimpl, G. (2021). *Learning and motor inhibitory control in crows and domestic chicken*. <https://doi.org/10.1101/2020.10.27.357764>
- Weigl, P. D., & Hanson, E. V. (1980). Observational Learning and the Feeding Behavior of the Red Squirrel *Tamiasciurus Hudsonicus* : The Ontogeny of Optimization Published by : Ecological Society of America OBSERVATIONAL LEARNING AND THE FEED. *Ecology*, 61(2), 214–218.
- Wilkinson, A., Kuenstner, K., Mueller, J., & Huber, L. (2010). Social learning in a non-social reptile (*Geochelone carbonaria*). *Biology Letters*, 6(5), 614–616. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0092>
- Yeater, D., & Kuczaj II, S. (2010). Observational Learning in Wild and Captive Dolphin. *International Journal of Comparative Psychology*, 23(3), 379–385.
- Zentall, T. R. (2006). Imitation: Definitions, evidence, and mechanisms. *Animal Cognition*, 9(4), 335–353. <https://doi.org/10.1007/s10071-006-0039-2>

Anexos

Medidas morfométricas

Tabela Sup. 1 - Representação das médias e desvio padrão das medidas morfométricas, idade, peso e ectoparasitas das aves usadas neste estudo (n=20).

Variável	Média	Desvio Padrão	Variável	Média	Desvio Padrão
Idade (anos)	1,5	0,512989176	Altura bico (mm)	6,04	0,181803827
Asa esquerda (mm)	69,65	2,084403234	Comprimento bico (mm)	6,9075	0,703426763
Asa direita (mm)	70,2	2,238420496	Largura bico (mm)	5,9425	0,456322543
Cauda (mm)	39,605	3,416750534	Peso (g)	11,6	0,715247473
Tarso (mm)	15,9475	0,430261548	Ectoparasitas (contagem)	6,65	4,120232492

Análise dos fatores

Tabela Sup. II - Modelo linear generalizado para os fatores que podem representar diferenças de aprendizagem com todas as variáveis.

Variáveis	Wald χ^2	ρ
Interceptação	,004	,951
Sexo Inexperiente	2,292	,130
Sexo Tutor	,023	,880
Idade	2,988	,084
PCAcorpo	,156	,693
PCAbico	,015	,903

Setup

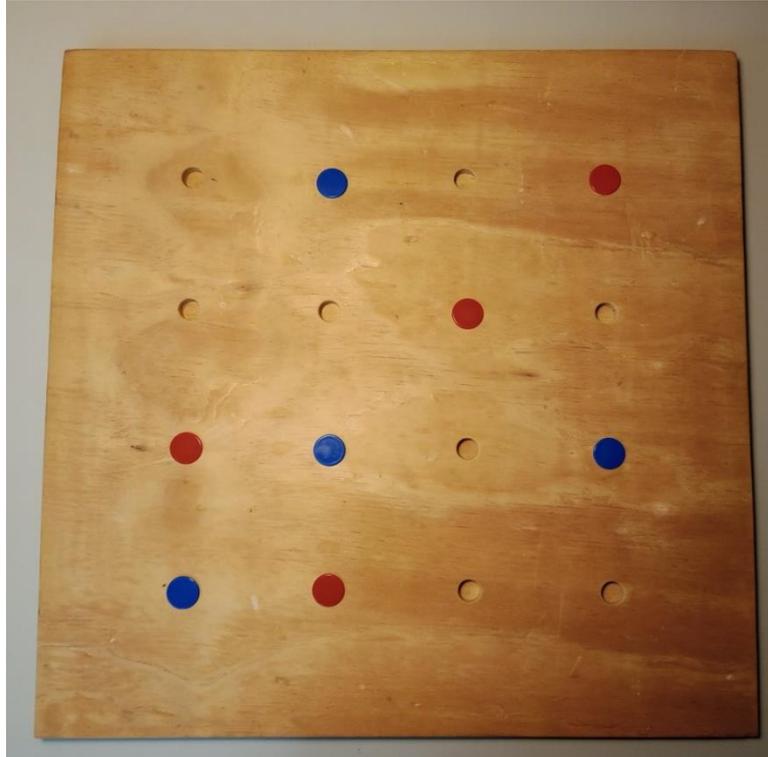


Figura 13 – Uma das placas de madeira com 16 buracos (tabuleiro) utilizada ao longo de todo o projeto. É possível observar os discos de cor que tapam os buracos com ou sem alimento.



Figura 14 - Exemplo de disco com e sem alimento. É possível observar ainda as diferenças entre o tamanho do disco com o diâmetro do buraco.

