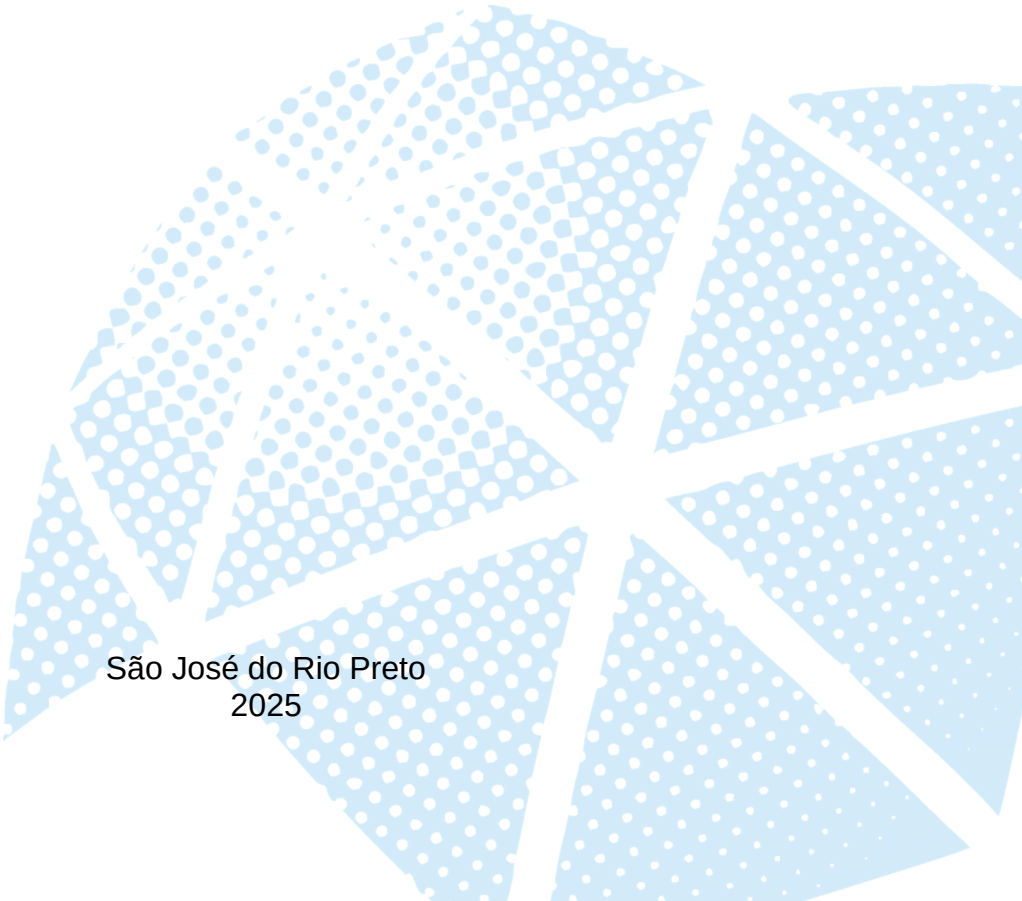
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas – Campus de São José do Rio Preto

BIANCA CAMBIAGHI E SILVA

ESTIMULAÇÃO TÁCTIL EM PEIXES:

efeitos no apaziguamento e modulação dopaminérgica



São José do Rio Preto
2025

BIANCA CAMBIAGHI E SILVA

ESTIMULAÇÃO TÁCTIL EM PEIXES:

efeitos no apaziguamento e modulação dopaminérgica

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade.

Orientadora: Profª. Drª. Eliane Gonçalves de Freitas
Coorientadora: Profª. Drª. Marta Candeia Soares
Coorientador: Prof. Dr. Manuel Gesto

São José do Rio Preto
2025

S586e

Silva, Bianca Cambiaghi e
Estimulação táctil em peixes: efeitos no apaziguamento e modulação dopaminérgica / Bianca Cambiaghi e Silva. -- São José do Rio Preto, 2025

77 f. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Eliane Gonçalves de Freitas
Coorientadora: Marta Candeia Soares
Coorientador: Manuel Gesto

1. Biologia. 2. Animais - Comportamento. 3. Bem-estar. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE / UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Este trabalho contribui para o estudo do comportamento de peixes, apresentando novas descobertas acerca da estimulação táctil corporal e seus mecanismos comportamentais e fisiológicos. Além disso, o primeiro estudo contribui com uma nova perspectiva sobre o estudo da agressividade, sugerindo o apaziguamento como um fator igualmente importante nesse contexto. O segundo estudo, por sua vez, apresenta uma nova contribuição para o entendimento do funcionamento fisiológico da estimulação táctil em peixes. De uma maneira geral, os resultados desse estudo contribuem para uma compreensão mais ampla acerca da adaptação e evolução dos mecanismos sensoriais em vertebrados. O trabalho possui grande potencial de aplicação na aquicultura, sugerindo que a estimulação táctil artificial pode ser uma estratégia eficaz de enriquecimento sensorial para melhorar as condições de criação ao promover o bem-estar animal, reduzindo o estresse dos peixes e otimizando a produtividade da aquicultura.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This work contributes to the study of fish behavior by providing new insights into tactile body stimulation and its behavioral and physiological mechanisms. In addition, the first study brings a new perspective to the study of aggression, suggesting that appeasement is equally important in this context. The second study provides a new contribution to the understanding of the physiological function of tactile stimulation in fish. Overall, the results of this study contribute to a broader understanding of the adaptation and evolution of sensory mechanisms in vertebrates. The work has great potential for application in aquaculture, suggesting that artificial tactile stimulation may be an effective sensory enrichment strategy to improve rearing conditions by promoting animal welfare, reducing fish stress and optimizing aquaculture productivity.

BIANCA CAMBIAGHI E SILVA

ESTIMULAÇÃO TÁCTIL EM PEIXES:

efeitos no apaziguamento e modulação dopaminérgica

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade.

Data da defesa: 30/01/2025

Banca Examinadora:

_____
Profª. Drª. Eliane Gonçalves de Freitas
UNESP – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José do Rio Preto

_____
Profª. Drª. Leonor Galhardo
ISPA – Instituto Universitário de Ciências Psicológicas, Sociais e da Vida – Portugal

_____
Profª. Drª. Marisa Fernandes Castilho
UFPR – Universidade Federal do Paraná

À minha mãe e companheira de vida,
Valéria Cambiaghi. Tudo nessa minha vida vai ser por você, sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente à minha mãe, Valéria Cambiaghi, por tudo que ela fez e faz por mim. Sou grata pelo caminho que ela trilhou para que eu pudesse alcançar o que tenho hoje e pelos esforços incansáveis que ela sempre teve para me proporcionar a melhor educação possível, mesmo com as nossas dificuldades. Agradeço por ter cuidado de mim como mãe e como pai também, e por sempre apoiar as minhas decisões com muito carinho. Não cabe no meu coração a minha gratidão e admiração por você.

Agradeço à minha família, Gustavo Girade, Guilhermina Henrique (Dona Nininha), José Ferreira, Elisabeth Girade, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e comemorando as minhas vitórias comigo. Agradeço por torcerem pela minha independência, mas também por serem o lar ao qual eu sempre posso voltar.

Agradeço à minha orientadora, Eliane Gonçalves de Freitas, com a qual divido a experiência de fazer ciência há quase cinco anos, por todos os conselhos e ensinamentos valiosos que recebi ao longo da minha jornada acadêmica que me lapidaram como cientista. Agradeço pela paciência, pelo apoio e por sempre se esforçar para me ajudar a alcançar oportunidades ímpares nesse caminho. Agradeço por se dedicar em me ensinar a extrair o máximo daquilo que temos, me motivando a fazer o melhor possível sempre. Admiro muito a mulher de grande inteligência, humanidade e integridade que você é, e a carreira que você trilhou. São exemplos que sempre levarei comigo.

Agradeço às minhas amigas e companheiras de laboratório, Ana Gauy e Sarah Prado, por caminharem ao meu lado durante todo esse período. Por dividirem comigo conhecimentos, angústias, conquistas, e por nunca deixarem de me oferecer ajuda. A companhia que vocês me fizeram nesse período possibilitou que esse trabalho pudesse ser realizado e fez com que essa experiência fosse muito mais preciosa. É um grande privilégio poder ter esse suporte emocional que vocês me dão.

Agradeço também à minha amiga e irmã de coração, Aline Campanelli, pela amizade e companheirismo de sempre. Agradeço pelas ligações infinitas que me ajudavam a não desanimar, a levantar da cama e fazer o que precisasse ser feito. Agradeço pela ajuda em aliviar o peso dos dias difíceis, por me ouvir sempre e me oferecer consolo quando precisei.

Agradeço à minha coorientadora, professora Marta Soares, por ter aceitado participar desse projeto desde o início, sendo sempre muito solícita para me ajudar com o que quer que eu precisasse. Agradeço por ter me acolhido em seu país, por todo conhecimento que dividiu comigo e por toda ajuda que me ofereceu tanto em relação ao experimento quanto fora dele. Sou muito grata por você ter viabilizado a oportunidade que realizou meu sonho. Também não posso deixar de agradecer à Sonia e Sofia pelo acolhimento e companhia nesse período.

Agradeço ao meu coorientador, professor Manuel Gesto, pela gentileza e suporte no período em que me recebeu no seu laboratório na Dinamarca. Agradeço por me ajudar com absolutamente tudo durante a minha estadia, por me ajudar a encontrar alojamento, me buscar na estação, me apresentar à equipe e se certificar de que eu

estava bem instalada. Agradeço pela paciência em ajudar a resolver os problemas que surgiram, pelos ensinamentos e pela confiança que depositou em mim.

Agradeço à toda equipe do Aquário Vasco da Gama, em especial ao comandante Nuno Leitão e à subcomandante Maria Martins, por me receberem tão prontamente na sua instituição e por me ajudarem com todo o processo. Agradeço à Drª. Fátima, ao Mário e à equipe de cuidadores por toda assistência ao meu experimento. Também agradeço à Marta Luiz por dedicar seu tempo em me ajudar ativamente com as etapas do meu experimento, mesmo aos finais de semana. Toda essa ajuda foi primordial para que o trabalho pudesse ser feito.

Agradeço a todos os professores e funcionários da Techinal University of Denmark, por me receberem tão bem e se preocuparem em me incluir na convivência da faculdade. Agradeço aos alunos, que então se tornaram bons amigos, pela troca sincera que tivemos, pelas visitas que fizemos juntos e por toda experiência que dividimos durante a minha estadia.

Agradeço aos técnicos do nosso laboratório, Carlos de Sousa e Roselene Silva, por me ajudarem a resolver os problemas que eventualmente surgem quando fazemos experimentos. Agradeço por me socorrerem com o que precisei, mesmo em momentos inoportunos. Também agradeço ao professor Francisco Langeani pela gentileza de disponibilizar seus equipamentos para a fotografia do *Geophagus iporangensis.*

Agradeço a todos os meus amigos que participaram do meu caminho, Vitor Niskirara, Ingrid Iris, Izabela Zilli, Guilherme Pretto, Bruno Vieira, assim como os meus amigos e veteranos de laboratório, Manuela Brandão e Felipe Dorigão. Também agradeço imensamente ao meu amigo Rodolfo Pelinson, por todo suporte com as estatísticas do meu projeto e pela paciência em me orientar sempre que precisei. Obrigada a todos por todo apoio e motivação de sempre.

Agradeço aos funcionários da STAEPE e da seção de pós-graduação do Ibilce, por sempre me ajudarem, com tanta paciência e atenção, a resolver as dúvidas que apareceram ao longo desse processo.

Agradeço ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (Ibilce/Unesp), pelo ensino de extrema qualidade que me proporcionou durante a minha formação. Agradeço aos professores que passaram pelo meu caminho, por sua dedicação e resistência, mesmo com todo desprestígio que a educação sofre em nosso país.

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

Agradeço à FAPESP, pelo apoio financeiro, concedido por meio do Processo nº 2023/04059-1 e nº 2023/15708-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

A FAPESP também apoiou este trabalho com um auxílio de pesquisa regular (processo nº 2023/02306-1), concedido à minha orientadora Eliane Gonçalves de Freitas, e com uma bolsa de treinamento técnico V (processo nº 2023/09880-5), concedido à Ana Carolina dos Santos Gauy.

RESUMO

A estimulação táctil corporal (ET), semelhante a toques e massagens terapêuticas, é um tipo de enriquecimento sensorial que melhora o bem-estar de peixes reduzindo a agressividade e o estresse, e aumentando o crescimento. Esses efeitos são importantes em espécies territoriais, como *Geophagus iporangensis* e *Sparus aurata*, nas quais a agressividade compõe o comportamento natural, mas pode ser intensificada em níveis não-adaptativos quando em condições de criação artificial. Esta dissertação objetivou explorar mecanismos comportamentais e fisiológicos associados à ET em peixes. A ET foi realizada artificialmente através de um aparato formado por uma moldura de PVC, preenchida por hastes plásticas contendo cerdas de silicone nas laterais, posicionado centralmente no aquário. Os peixes recebiam ET ao passarem entre as cerdas. Em um primeiro estudo, testamos o efeito da ET sobre o comportamento de apaziguamento em *G. iporangensis*. Nas lutas, o nível de agressividade depende do comportamento do dominante e de comportamentos de apaziguamento do submisso. Portanto, o apaziguamento tem sido associado a um sinal de submissão que deve reduzir a probabilidade de agressão de outros indivíduos, como mudanças na coloração corporal e postura. Os animais permaneceram por 21 dias em um tratamento com estimulação ou em um controle, sem as cerdas de silicone (n=15 em cada tratamento). Posteriormente, cada indivíduo foi pareado com outro para observação de lutas e quantificação do apaziguamento. Após as lutas, foi realizada coleta de sangue para avaliação do cortisol plasmático (indicador de estresse). Os comportamentos de submissão são estados, portanto utilizamos registro intervalar de 15s em 30min de gravação, resultando em 12 intervalos, com *score* de 0,0 a 1,0. Ademais, utilizamos um *score* cumulativo (0,0 a 9,0), já que as unidades de comportamento de submissão podem ocorrer simultaneamente. Não encontramos diferenças em cada unidade isolada. Porém, constatamos que indivíduos que receberam ET aumentaram significativamente o *score* de apaziguamento cumulativo no final da luta, aumentando, portanto, os sinais de apaziguamento. Não encontramos diferenças nos níveis de cortisol entre os tratamentos, mas encontramos correlação negativa entre cortisol e atravessamentos pelas cerdas de silicone, indicando uma tendência da ET em reduzir o estresse nesses animais. Em um segundo estudo, testamos a possível modulação da ET pela dopamina em *S. aurata*, já que um provável mecanismo para os efeitos da ET em

mamíferos envolve as vias dopaminérgicas de recompensa. Grupos de quatro peixes permaneceram em ET por 7 dias e, depois, foram destinados a um dos três tratamentos do estudo (n=12 cada): injeções intramusculares de agonista D1, antagonista D1 ou salina. Depois, os grupos foram reinseridos no aquário contendo, dessa vez, um estimulador com 50% cerdas e 50% sem cerdas, para analisar a escolha dos indivíduos pela ET. Constatamos que indivíduos tratados com antagonista D1 apresentaram maior frequência relativa da escolha pela ET que os demais tratamentos. Esses resultados mostram que a ET é modulada pela dopamina, como nos mamíferos, geralmente associado à recompensa. Em geral, sugerimos que a ET afeta o comportamento dos peixes por vários mecanismos e, embora sejam necessárias mais investigações, é um tipo de enriquecimento ambiental que melhora o bem-estar dos peixes.

Palavras–chave: Bem-estar. Dopamina. Enriquecimento sensorial. Estresse social. Submissão.

ABSTRACT

Tactile body stimulation (TS), similar to therapeutic massage and touch, has been shown to improve fish welfare by reducing aggression and stress and increasing growth rate. These effects are important for territorial species such as *Geophagus iporangensis* and *Sparus aurata*, in which aggression is part of natural behavior but can be increased to non-adaptive levels under artificial rearing conditions. The aim of this thesis was to investigate some of the behavioral and physiological mechanisms associated with TS in fish. TS was artificially induced using an apparatus made of a PVC frame filled with plastic sticks, sided with silicone bristles, and positioned in the center of the aquarium. The fish receive TS by passing through the bristles. In the first study, we tested the effect of TS on the appeasement behavior of *G. iporangensis*. In fights, the level of aggression depends on both, the dominant's behavior as well as the subordinate's appeasement behavior. In this sense, appeasement is associated with signs of submission that should reduce the likelihood of aggression from other individuals, such as changes in body color and posture. The animals remained individually in a stimulation treatment or in a control one, without the silicone bristles, for 21 days (n=15 each treatment). Each individual was then paired with another one to observe fights and quantify appeasement. After the fights, blood was taken to measure plasma cortisol (an indicator of stress). As subordination is a state, we used time sampling with 15 s interval in 30 min recording, resulting in a behavioral score. We found that individuals who received TS significantly increased subordinate score at the end of the fight, therefore increasing appeasement behavior. We did not find any differences in cortisol levels between the two treatments. However, we found a negative correlation between cortisol and crossings through the bristles, indicating a tendency for TS to reduce stress in these animals. In a second study, we tested the potential modulation of TS by dopamine in *S. aurata*, since a likely mechanism for the effects of TS in mammals involves dopaminergic reward pathways. Groups of four fish fish remained under TS for 7 days and then were assigned to one out of the three treatments (n=12 each): intramuscular injections of D1 agonist, D1 antagonist or saline. After that, the groups were returned to the aquarium, this time containing an apparatus with 50% bristles and 50% without ones, to analyze the individuals' choice for TS. We found that individuals treated with antagonist D1 had a higher relative frequency of choosing TS than the other treatments. These results show that TS is

modulated by DA like mammals, which are usually associated with reward. Overall, we suggest that TS affects fish behavior by several mechanisms and, although more investigations are needed, it is a type of environmental enrichment that improves fish welfare.

Keywords: Welfare. Dopamine. Sensorial enrichment. Social stress. Submission.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Efeito da estimulação táctil sobre o comportamento de apaziguamento em um peixe ciclídeo neotropical

Figura 1 – *Geophagus iporangensis*. 27

Figura 2 – Esquema dos aparatos estimuladores e posicionamento no aquário. 29

Figura 3 – Protocolo experimental para avaliação do comportamento de apaziguamento em *G. iporangensis.* 31

Figura 4 - Etograma das interações agonísticas de *G. iporangensis* 32

Figura 5 – Frequência dos atravessamentos dos indivíduos nos tratamentos com e sem estimulação. 40

Figura 6 – Diferentes s*cores* de apaziguamento em cada tratamento. 42

Figura 7 – *Score* de intensidade de apaziguamento ao longo da luta. 43

Figura 8 – Níveis de cortisol plasmático (ng/mL) e parâmetros de crescimento em cada tratamento. 44

Figura 9 – Correlação de Pearson entre a frequência de atravessamentos pelo estimulador e o nível de cortisol plasmático em cada tratamento. 45

O efeito da mediação dopaminérgica na procura da estimulação táctil em Douradas (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758)

Figura 1 – *Sparus aurata* 55

Figura 2 – Esquema dos aparatos estimuladores e posicionamento no aquário. 57

Figura 3 – Frequências de atravessamentos anteriores às injeções. 59

Figura 4 – Frequência dos atravessamentos dos 3 tratamentos pós-injeções. 60

Figura 5 – Correlação de Spearman entre as frequências de atravessamentos antes e após as injeções. 61

LISTA DE TABELAS

Efeito da estimulação táctil sobre o comportamento de apaziguamento em um peixe ciclídeo neotropical

Tabela 1 - Exemplo do registro intervalar 37

Tabela 2 - Modelo linear generalizado misto com distribuição beta ordenada entre a frequência relativa de cada comportamento de apaziguamento em cada tratamento. 41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ET	Estimulação táctil corporal
PVC	Policloreto de vinila
DA	Dopamina
DOPAC	Ácido 3,4-dihidroxifenilacetico
EA	Enriquecimento ambiental
5HIAA	Ácido 5-hidroxindole-3-acetico
5HT	5-hidroxitriptamina (serotonina)
ELISA	*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*
GLMM	Modelos Lineares Generalizados Mistos
SGR	Taxa de crescimento específica
ACTH	Hormônio adrenocorticotrófico
SNC	Sistema Nervoso Central
ATV	Área Tegmental Ventral
PBS	Solução Salina Tampão Fosfatada

LISTA DE SÍMBOLOS

min	Minutos
s	Segundos
%	Porcento
L	Litros
h	Horas
cm	Centímetros
L/D	Light/Dark (Claro/Escuro)
ºC	Graus Celsius
g	Gramas
rpm	Rotações por minuto
µg	Microgramas
µL	Microlitros
mg	Miligramas
ppm	Partes por milhão
X^2	Qui-quadrado

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	16
2	**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TÁCTIL SOBRE O COMPORTAMENTO DE APAZIGUAMENTO EM UM PEIXE CICLÍDEO NEOTROPICAL**	22
2.1	Introdução	23
2.2	Materiais e métodos	26
2.3	Resultados	40
2.4	Discussão	45
3	**O EFEITO DA MEDIAÇÃO DOPAMINÉRGICA NA PROCURA DA ESTIMULAÇÃO TÁCTIL EM DOURADAS (*SPARUS AURATA* LINNAEUS, 1758)**	51
3.1	Introdução	52
3.2	Materiais e métodos	54
3.3	Resultados	58
3.4	Discussão	62
4	**CONCLUSÃO**	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

A estimulação táctil corporal é uma experiência sensorial positiva decorrente do contato físico entre dois ou mais indivíduos, ou por meio de aparatos artificiais (Bolognesi *et al.*, 2019). Em humanos, por exemplo, a experiência positiva de massagens terapêuticas tem sido explorada sob o contexto da saúde e do bem-estar. Estudos mostram que as massagens contribuem para a diminuição da intensidade da dor e da ansiedade em pacientes com câncer (Jane *et al.,* 2009) e do estresse em indivíduos com distúrbios alimentares, depressão e doenças autoimunes (Field *et al.*, 2005). Além disso, também foi demonstrado que o contato físico proporcionado pelo parceiro romântico antes de um estressor reduz o estresse em mulheres, demonstrado pela subsequente redução de cortisol e da frequência cardíaca (Ditzen *et al.,* 2007).

A estimulação táctil também tem sido estudada como fortalecedora de vínculos em grupos sociais. Em primatas, o ato de remover parasitos e resíduos de vegetação dos pelos de outro indivíduo, conhecido como *grooming*, se caracteriza como uma atividade cuja função se associa à higiene e ao vínculo social (Dunbar, 2010). Dentro desses grupos sociais, as relações monogâmicas entre pares envolvem uma grande demanda cognitiva, exigindo sincronização comportamental, compromisso e coordenação (Dunbar, 2010). Nesse sentido, o *grooming* atua como um mecanismo que facilita a manutenção dessas relações ao proporcionar um ambiente psicofarmacológico (Keverne, Martensz e Tuite, 1989) que aumenta o comprometimento com o relacionamento (Dunbar, 2010). Além disso, o *grooming* também se associa com uma diminuição do estresse nesses animais (Shutt *et al.,* 2007). Dessa forma, a estimulação táctil fornecida pelo *grooming* exerce um papel importante não só na promoção do bem-estar, como na formação e manutenção dos vínculos sociais.

A estimulação táctil tem função e efeitos semelhantes em mamíferos não primatas e, por fazer parte do repertório comportamental natural dos animais, tem sido utilizada no contexto do bem-estar. Estudos mostram que o toque proporcionado por cuidadores diminui a frequência cardíaca em vacas (Schmied *et al.,* 2010) e cordeiros (Coulon *et al.,* 2015). Em adição, esse tipo de estimulação tem sido relacionado à diminuição de comportamentos associados ao estresse em diferentes contextos de

criação, como em suínos (Tallet *et al.,* 2014), bovinos (Probst *et al.,* 2013), cordeiros (Coulon *et al.,* 2015) e vacas (Schmied *et al.,* 2010). Dessa forma, a estimulação táctil se revela como um elemento fundamental para a promoção do bem-estar de humanos e animais não-humanos.

Na natureza, mesmo com corpo relativamente rígido e ausência de membros, os peixes se revelam como um exemplo de estimulação táctil positiva que ocorre nos oceanos (Bshary e Würth, 2001). O estudo desse estímulo em peixes se iniciou a partir de uma interação mutualística que ocorre nos recifes de coral com o peixe-limpador *Labroides dimidiatus* (Bshary e Würth, 2001). Essa espécie se alimenta dos parasitos presentes na superfície corporal de peixes-clientes, frequentemente tocando as áreas das nadadeiras dorsais dos clientes com suas nadadeiras pélvicas e peitorais (Bshary e Würth, 2001). Os peixes clientes, por sua vez, se beneficiam não só dessa remoção dos parasitos, como também da estimulação táctil proporcionada pelo toque limpador (Bshary e Würth, 2001). Estudos subsequentes revelaram que esta estimulação também contribui para diminuir o estresse em uma espécie de cliente, *Ctenochaetus striatus* (Soares *et al.,* 2011). Com base nessas observações sobre os efeitos positivos da estimulação táctil natural em peixes, outros estudos buscaram testar se esse efeito também se reproduzia no contexto da piscicultura (Bolognesi *et al.,* 2019; Gauy *et al.,* 2022; Gauy *et al.,* 2023). A tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus* (L.), é uma espécie de ciclídeo amplamente utilizada na aquicultura e que apresenta hierarquia de dominância territorial (Gonçalves-de-Freitas *et al.*, 2019). Nessa espécie, a estimulação táctil artificial, realizada por meio de um aparato com cerdas de silicone, reduz a agressividade (Bolognesi *et al.*, 2019), aumenta a taxa de crescimento (Gauy *et al.*, 2022) e diminui os efeitos da alta densidade de estocagem sobre o comportamento e o desempenho produtivo (Gauy *et al.,* 2023). Esses resultados demonstram o potencial da estimulação táctil, tanto natural quanto artificial, para melhorar o bem-estar e o desempenho produtivo dos peixes. Contudo, os mecanismos fisiológicos e comportamentais envolvidos na resposta dos peixes a esse estímulo são pouco conhecidos.

As interações agressivas fazem parte do comportamento social dos ciclídeos e ocorrem principalmente durante o estabelecimento das hierarquias sociais (Satoh *et al.,* 2019). Após a definição da posição social, a frequência de lutas intensas reduz e as sinalizações (i.e., displays) aumentam. Dominantes e submissos geralmente

comunicam sua posição social por meio de mudanças na postura e na coloração corporal (Barlow, 2000) e mediante comunicação química (Keller-Costa *et al.,* 2015) que culminam na redução das lutas físicas diretas. Assim, o valor adaptativo de tal hierarquia social é reduzir os efeitos prejudiciais da competição, organizando o acesso aos recursos ambientais e reduzindo os custos de lutas prolongadas, tais como: intenso gasto energético, lesões corporais e estresse social para os competidores (Gonçalves-de-Freitas *et al.,* 2019).

Durante o estabelecimento e manutenção da hierarquia de dominância, além da comunicação da posição social, os indivíduos podem sinalizar a sua motivação agressiva, o que contribui para estabilizar essa hierarquia e promover a convivência em grupo (Frommen, 2020). Os peixes submissos podem comunicar sua reduzida motivação para escalonar uma luta contra um indivíduo dominante ou com maior habilidade de luta (Petit, 2010). Nesse sentido, o comportamento de apaziguamento tem sido associado com um sinal de submissão, o qual deve reduzir a probabilidade de agressão de outros indivíduos (Ruberto *et al.,* 2020). Essa comunicação que proporciona o apaziguamento traz benefícios para ambos os peixes envolvidos nas lutas, uma vez que as interações agressivas requerem alto custo energético para os indivíduos (Copeland *et al.,* 2011). Alguns sinais de submissão em peixes que promovem o comportamento de apaziguamento conhecidos na literatura são sinalizações com a cabeça apontada para cima (Ruberto *et al.,* 2020), escurecimento da íris (Miyai *et al.,* 2011) e mudanças na coloração corporal (Barlow, 2000). Contudo, na literatura, o apaziguamento é pouco investigado, quando comparado aos estudos com indivíduos dominantes no contexto da agressividade e resolução de lutas. Dessa forma, em um primeiro estudo, testamos a hipótese de que a estimulação táctil, a qual já demonstra efeitos na agressividade de peixes, atua no comportamento de apaziguamento de um ciclídeo neotropical, *Geophagus iporangensis*. Nossa predição era que indivíduos que receberam esse tipo de estímulo exibiriam um apaziguamento mais intenso em disputas por hierarquia social, quando comparado a indivíduos sem a estimulação. A espécie escolhida se utiliza do escurecimento da íris como sinal de submissão para promover o apaziguamento (Miyai *et al.,* 2011), contribuindo para sua escolha como o modelo do primeiro estudo.

A ação da estimulação táctil nos peixes se dá pela despolarização de mecanorreceptores, os quais se distribuem pelas nadadeiras, linha lateral e outras

regiões da pele desses animais (Devitsina *et al.*, 2020). O toque induz a despolarização de mecanorreceptores ascendentes, desencadeando um potencial de ação que atinge as regiões encefálicas do sistema nervoso central através de vias modulatórias da medula espinhal (Lloyd, 2015). Entretanto, pouco se conhece acerca dos mecanismos fisiológicos associados aos efeitos da estimulação táctil em peixes. Considerando que o sistema nervoso central possui funções conservadas em peixes e mamíferos, é possível que vias dopaminérgicas estejam envolvidas com estes mecanismos da mesma forma que ocorre em mamíferos (Field *et al.*, 2005).

A relação entre o estímulo táctil e a dopamina (DA) foi observada em ratos (Maruyama *et al.,* 2012). Nesse estudo, Maruyama e colaboradores (2012) demonstraram que a estimulação táctil positiva aplicada à pele de ratos aumenta a liberação de DA no núcleo accumbens de indivíduos conscientes e anestesiados. No caso do peixe limpador *L. dimidiatus*, manipulações feitas no sistema DA revelaram algumas mudanças comportamentais (Messias *et al.,* 2016). O tratamento com antagonistas dos receptores do tipo D1 e D2 fez com que os limpadores interagissem mais, mas buscassem menos alimento, resultando no fornecimento quase exclusivo de estimulação tátil aos clientes (Messias *et al.,* 2016). No estudo de Abreu e colaboradores (2018), em peixes expostos a um limpador, foi observado uma maior quantidade de DA no prosencéfalo, bem como uma maior quantidade de seu principal metabólito oxidativo, DOPAC, no tronco cerebral, em comparação com aqueles expostos a coespecíficos. Dessa forma, um provável mecanismo da estimulação táctil envolve as vias dopaminérgicas do cérebro como, por exemplo, as vias cerebrais de recompensa. A dopamina e o cortisol parecem ser, portanto, parte do mecanismo fisiológico associado ao estresse e estímulo táctil (Field *et al.,* 2005; Ellis *et al.,* 2012; Abreu *et al.,* 2018; Messias *et al.,* 2016; Maruyama *et al.,* 2012).

O cortisol é um hormônio liberado na corrente sanguínea pelas células interrenais em peixes. Altos níveis de cortisol sanguíneo têm sido associados com situações estressantes, do mesmo modo que massagens terapêuticas se mostraram efetivas em reduzir esses índices sanguíneos (Field *et al.,* 2005). A redução do estresse, por sua vez, está associada à diminuição da atividade do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, evidenciada por menores níveis circulantes de glicocorticoides, como o cortisol (DeVries, Glasper e Detillion, 2003). Além disso, o cortisol também tem sido associado com a agressividade, com altos níveis desse hormônio se relacionando

com comportamentos de submissão (Ellis *et al.,* 2012). A dopamina, por outro lado, apresenta efeitos associados com a redução do estresse, à medida em que seus níveis permanecem elevados, sendo que baixos níveis desse neurotransmissor se associam com sintomas depressivos em diversos táxons (Field *et al.,* 2005). A DA está envolvida na avaliação da recompensa e do risco, no reforço do comportamento (Heimovics *et al.,* 2009; Berridge e Robinson, 1998) e nas respostas antecipatórias a estímulos associados à recompensa (Heimovics *et al.,* 2009), uma vez que a sua liberação indica o resultado de uma ação como atraente ou aversiva (Salomone e Correa, 2021; Schultz, 1998). A partir disso, para testar se as vias dopaminérgicas modulam a estimulação táctil em peixes de maneira semelhante ao que ocorre para mamíferos, elaboramos o segundo estudo desse trabalho. Nossa predição era que se a estimulação táctil fosse processada com valência positiva, a mesma seria modulada por alterações exógenas nos níveis de DA. Assim, o bloqueio dos níveis endógenos funcionaria como uma omissão da recompensa, levando a uma compensação comportamental caracterizada pela procura do estimulador. Em contrapartida, o aumento dos níveis de DA teria o efeito oposto. Para este segundo estudo, utilizamos machos de *Sparus aurata*, uma espécie de grande importância para a aquicultura da região do mar Mediterrâneo (Basurco, Lovatelli e García, 2011).

No contexto da aquicultura, o enriquecimento ambiental (EA) tem sido definido como estímulos (motores ou sensoriais) adicionados ao ambiente, que aumentam a complexidade do habitat e contribuem no atendimento das necessidades fisiológicas, comportamentais e psicológicas dos peixes (Arechavala-Lopez *et al.,* 2019, 2022). Nesse sentido, o EA se revela como uma importante ferramenta para melhorar o bem-estar dos peixes, englobando as três abordagens que definem o bem-estar animal em termos de funcionamento biológico adequado (Huntingford, Kadri e Jobling, 2012): funcional, natural e emocional (Arechavala-Lopez *et al.,* 2022; Näslund e Johnsson, 2016). Alguns exemplos de enriquecimento físico são estruturas (abrigos, rochas, plantas artificiais), mudanças no substrato e a combinação de ambos (Arechavala-Lopez *et al.,* 2022). A adição de fibras vegetais, por exemplo, diminuiu a agressão e as injúrias corporais em *S. aurata* (Arechavala-Lopez *et al.,* 2019). O enriquecimento físico também diminuiu a frequência de interações agressivas em *Geophagus brasiliensis* (Kadry e Barreto, 2010). Exemplos de enriquecimento sensorial são estímulos visuais (intensidades de luzes, cores das paredes do aquário), acústicos

(sons e música), químicos (feromônios e pistas químicas) e tácteis (Arechavala-Lopez *et al.,* 2022). Nesse sentido, a estimulação táctil artificial pode funcionar como um enriquecimento sensorial que reduz a agressividade, diminuindo o estresse social e o gasto de energia com lutas. Os efeitos de enriquecimento sensorial têm sido considerados relevantes para o bem estar de peixes. Contudo, a estimulação táctil é utilizada majoritariamente em estudos com mamíferos, de maneira que apenas três grupos de pesquisa do mundo têm se dedicado a esse tema em peixes, sendo um deles o nosso grupo de pesquisa. Nesse estudo, nós exploramos alguns mecanismos comportamentais e fisiológicos associados à estimulação táctil em duas espécies de peixes, *G. iporangensis* e *S. aurata*. Esse estudo foi inovador, uma vez que pouco se conhece acerca dos mecanismos comportamentais e fisiológicos envolvidos com esse tipo de enriquecimento sensorial em peixes.

4 CONCLUSÃO

No presente estudo, demonstramos que um dos mecanismos pelos quais a estimulação táctil afeta a agressividade de *G. iporangensis* é aumentando o apaziguamento dos indivíduos. Além disso, vimos que esse estímulo se associa às vias de recompensa dopaminérgicas em *S. aurata*, revelando que os animais recorrem à ET como uma forma de compensação e/ou atribuição de valência positiva a esse tipo de enriquecimento. Ambos os estudos foram conduzidos com um estimulador táctil artificial, revelando que esse tipo de enriquecimento sensorial é eficaz em promover o bem-estar dessas espécies, mesmo fora do contexto de seus habitats naturais. Dessa forma, a estimulação táctil artificial se revela como uma poderosa ferramenta de bem-estar em peixes, especialmente em ambientes de criação artificial como a aquicultura e o aquarismo.

Mesmo através de um estímulo artificial, ambas as espécies demonstraram respostas comportamentais e fisiológicas ao estímulo táctil. Assim, sob o ponto de vista adaptativo, podemos dizer que essas espécies possuem um arcabouço fisiológico necessário para responder à estimulação táctil. Certamente, as espécies escolhidas nesse trabalho experienciam situações no seu ambiente natural nas quais ocorre a estimulação táctil. Dessa forma, devido à escassez de pesquisas na literatura, mais pesquisas se mostram necessárias para investigar os efeitos do estímulo táctil em outras espécies de teleósteos. Estudos futuros podem envolver a identificação dos circuitos neuronais envolvidos na recompensa associada ao estímulo táctil. Além disso, outras vias de recompensa, como o sistema opioide (Nummenmaa *et al.,* 2016; Fields e Margolis, 2015), podem ser exploradas em relação à estimulação táctil em peixes.

REFERÊNCIAS

ABREU, Murilo S. *et al.* The variable monoaminergic outcomes of cleaner fish brains when facing different social and mutualistic contexts. **PeerJ**, v. 6, p. e4830, 2018a.

ABREU, Murilo S. et al. Monoaminergic levels at the forebrain and diencephalon signal for the occurrence of mutualistic and conspecific engagement in client reef fish. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 7346, 2018b.

AMICHAUD, Océane et al. Air bubble curtain improves the welfare of captive rainbow trout fry and fingerlings. **Aquaculture**, v. 586, p. 740828, 2024.

AMORIM, M. Clara P. *et al.* Assessment of fighting ability in the vocal cichlid Metriaclima zebra in face of incongruent audiovisual information. **Biology Open**, v. 8, n. 12, p. bio043356, 2019.

ARECHAVALA-LOPEZ, Pablo et al. Effects of structural environmental enrichment on welfare of juvenile seabream (Sparus aurata). **Aquaculture Reports**, v. 15, p. 100224, 2019.

ARECHAVALA-LOPEZ, Pablo et al. Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, n. 2, p. 704-728, 2022.

ARNOTT, Gareth; ELWOOD, Robert W. Gender differences in aggressive behaviour in convict cichlids. **Animal behaviour**, v. 78, n. 5, p. 1221-1227, 2009.

AURELI, Filippo; CORDS, Marina; VAN SCHAIK, Carel P. Conflict resolution following aggression in gregarious animals: a predictive framework. **Animal behaviour**, v. 64, n. 3, p. 325-343, 2002.

BALSHINE, Sigal; WONG, Marian YL; REDDON, Adam R. Social motivation and conflict resolution tactics as potential building blocks of sociality in cichlid fishes. **Behavioural processes**, v. 141, p. 152-160, 2017.

BARATA, Eduardo N. et al. Male urine signals social rank in the Mozambique tilapia (Oreochromis mossambicus). **BMC biology**, v. 5, p. 1-11, 2007.

BARLEY, Anthony J.; COLEMAN, Ronald M. Habitat structure directly affects aggression in convict cichlids Archocentrus nigrofasciatus. **Current Zoology**, v. 56, n. 1, p. 52-56, 2010.

BARLOW, George. **The Cichlid Fishes: Nature's Grand Experiment in Evolution**, 1st ed.; Basic Books: New York, NY, USA, 2000.

BASURCO, Bernardo; LOVATELLI, Alessandro; GARCÍA, Benjamin. Current status of Sparidae aquaculture. **Sparidae**, p. 1-50, 2011.

BERRIDGE, Kent C.; ROBINSON, Terry E. What is the role of dopamine in reward: hedonic impact, reward learning, or incentive salience?. **Brain research reviews**, v. 28, n. 3, p. 309-369, 1998.

BIOPIX. *Gilthead seabream (Sparus aurata)*. Disponível em: http://www.biopix.com/gilthead-seabream-sparus-aurata_photo-33637.aspx. Acesso em: 8 jan. 2025.

BOEHMLER, W. et al. D4 Dopamine receptor genes of zebrafish and effects of the antipsychotic clozapine on larval swimming behaviour. **Genes, Brain and Behavior**, v. 6, n. 2, p. 155-166, 2007.

BOLOGNESI, Marcela Cesar; DOS SANTOS GAUY, Ana Carolina; GONÇALVES-DE-FREITAS, Eliane. Tactile stimulation reduces aggressiveness but does not lower stress in a territorial fish. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 40, 2019.

BSHARY, Redouan; CÔTÉ, Isabelle M. New perspectives on marine cleaning mutualism. **Fish behaviour. Enfield (NH): Science Publishers**, p. 563-592, 2008.

BSHARY, Redouan; WÜRTH, Manuela. Cleaner fish Labroides dimidiatus manipulate client reef fish by providing tactile stimulation. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 268, n. 1475, p. 1495-1501, 2001.

BUSE, Judith et al. Neuromodulation in Tourette syndrome: dopamine and beyond. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 37, n. 6, p. 1069-1084, 2013.

BUTLER, Julie M.; MARUSKA, Karen P. Mechanosensory signaling as a potential mode of communication during social interactions in fishes. **Journal of Experimental Biology**, v. 219, n. 18, p. 2781-2789, 2016a.

BUTLER, Julie M.; MARUSKA, Karen P. The mechanosensory lateral line is used to assess opponents and mediate aggressive behaviors during territorial interactions in an African cichlid fish. **Journal of Experimental Biology**, v. 218, n. 20, p. 3284-3294, 2015.

BUTLER, Julie M.; MARUSKA, Karen P. The mechanosensory lateral line system mediates activation of socially-relevant brain regions during territorial interactions. **Frontiers in behavioral neuroscience**, v. 10, p. 93, 2016b.

CHANDARARATHNA, Uthpala et al. Animal welfare issues in capture-based aquaculture. **Animals**, v. 11, n. 4, p. 956, 2021.

CIVELLI, Olivier et al. Molecular biology of the dopamine receptors. **European Journal of Pharmacology: Molecular Pharmacology**, v. 207, n. 4, p. 277-286, 1991.

COPELAND, Donald L. et al. Metabolic costs of fighting are driven by contest performance in male convict cichlid fish. **Animal Behaviour**, v. 82, n. 2, p. 271-280, 2011.

COULON, Marjorie et al. Do lambs perceive regular human stroking as pleasant? Behavior and heart rate variability analyses. **PLoS One**, v. 10, n. 2, p. e0118617, 2015.

CRAMB, Kaitlyn ML et al. Impaired dopamine release in Parkinson's disease. **Brain**, v. 146, n. 8, p. 3117-3132, 2023.

DAMSGÅRD, Børge. and HUNTINGFORD, Felicity. Fighting and Aggression. In **Aquaculture and Behavior** (eds F. Huntingford, M. Jobling and S. Kadri), 2012.

DEGROOT, Steven R. et al. Midbrain dopamine controls anxiety-like behavior by engaging unique interpeduncular nucleus microcircuitry. **Biological psychiatry**, v. 88, n. 11, p. 855-866, 2020.

DEVITSINA, G. V.; LAPSHIN, D. N. A noninvasive electrophysiological investigation of tactile sensitivity in cyprinid fish (Cyprinidae). **Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology**, v. 56, p. 338-347, 2020.

DEVOINO, Lidia et al. Regional changes of brain serotonin and its metabolite 5-hydroxyindolacetic acid and development of immunosuppression in submissive mice. **International journal of neuroscience**, v. 114, n. 9, p. 1049-1062, 2004.

DEVRIES, A. Courtney; GLASPER, Erica R.; DETILLION, Courtney E. Social modulation of stress responses. **Physiology & behavior**, v. 79, n. 3, p. 399-407, 2003.

DISARBOIS, Eloïse; DUHAMEL, Jean-René. Virtual social grooming in macaques and its psychophysiological effects. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 11697, 2024.

DITZEN, Beate et al. Effects of different kinds of couple interaction on cortisol and heart rate responses to stress in women. **Psychoneuroendocrinology**, v. 32, n. 5, p. 565-574, 2007.

DUNBAR, Robin IM. The social role of touch in humans and primates: behavioural function and neurobiological mechanisms. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 34, n. 2, p. 260-268, 2010.

ELIAS, Leah J. et al. Touch neurons underlying dopaminergic pleasurable touch and sexual receptivity. **Cell**, v. 186, n. 3, p. 577-590. e16, 2023.

ELLIS, Tim et al. Cortisol and finfish welfare. **Fish physiology and biochemistry**, v. 38, p. 163 188, 2012.

ELWOOD, Robert W.; ARNOTT, Gareth. Understanding how animals fight with Lloyd Morgan's canon. **Animal Behaviour**, v. 84, n. 5, p. 1095-1102, 2012.

FACTOR, Stewart A. Dopamine agonists. **Medical Clinics of North America**, v. 83, n. 2, p. 415-443, 1999.

FERNANDES, Maria F. et al. Anxiety-like behavior in female mice is modulated by STAT3 signaling in midbrain dopamine neurons. **Brain, Behavior, and Immunity**, v. 95, p. 391-400, 2021.

FIELD, Tiffany et al. Cortisol decreases and serotonin and dopamine increase following massage therapy. **International Journal of neuroscience**, v. 115, n. 10, p. 1397-1413, 2005.

FIELDS, Howard L.; MARGOLIS, Elyssa B. Understanding opioid reward. **Trends in neurosciences**, v. 38, n. 4, p. 217-225, 2015.

FROMMEN, J.G. Aggressive communication in aquatic environments. **Functional Ecology**, v. 34, n. 2, p. 364-380, 2020.

GAUY, Ana Carolina dos Santos; BOLOGNESI, Marcela Cesar; GONÇALVES-DE-FREITAS, Eliane. Long-term body tactile stimulation reduces aggression and improves productive performance in Nile tilapia groups. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 20239, 2022.

GAUY, Ana Carolina dos Santos; BOLOGNESI, Marcela Cesar; GONÇALVES-DE-FREITAS, Eliane. Body Tactile Stimulation Reduces the Effects of High Stocking Density on the Welfare of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus). **Fishes**, v. 8, n. 6, p. 320, 2023.

GAUY, Ana Carolina dos Santos; BOSCOLO, Camila Nomura Pereira; GONÇALVES-DE-FREITAS, Eliane. Less water renewal reduces effects on social aggression of the cichlid Pterophyllum scalare. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 198, p. 121-126, 2018.

GIAQUINTO, PercÍlia Cardoso; VOLPATO, Gilson Luiz. Chemical communication, aggression, and conspecific recognition in the fish Nile tilapia. **Physiology & Behavior**, v. 62, n. 6, p. 1333-1338, 1997.

GONÇALVES-DE-FREITAS, Eliane; BOLOGNESI, Marcela. Cesar; GAUY, Ana Carolina dos Santos; BRANDÃO, Manuela Lombardi; GIAQUINTO, Percilia Cardoso; FERNANDES-CASTILHO, Marisa. Social behavior and welfare in Nile tilapia. **Fishes**, v. 4, n. 2, p. 23, 2019.

GONÇALVES-DE-FREITAS, Eliane et al. Effect of water renewal on dominance hierarchy of juvenile Nile tilapia. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 112, n. 1-2, p. 187-195, 2008.

GONÇAVES-DE-FREITAS, Eliane; NISHIDA, Silvia Mitiko. Métodos de estudo do comportamento animal. **Comportamento animal. Natal: EDUFRN–Editora da UFRN**, p. 39-64, 2006.

GOODENOUGH, Judith; MCGUIRE, Betty; JAKOB, Elizabeth. **Perspectives on animal behavior.** John Wiley & Sons, 2009.

HEIMOVICS, Sarah A. et al. D1-like dopamine receptor density in nuclei involved in social behavior correlates with song in a context-dependent fashion in male European starlings. **Neuroscience**, v. 159, n. 3, p. 962-973, 2009.

HICK, Kristina et al. Strategic and tactical fighting decisions in cichlid fishes with divergent social systems. **Behaviour**, v. 151, n. 1, p. 47-71, 2014.

HOLDER, Jennifer L.; BARLOW, George W.; FRANCIS, Richard C. Differences in aggressiveness in the Midas cichlid fish (Cichlasoma citrinellum) in relation to sex, reproductive state and the individual. **Ethology**, v. 88, n. 4, p. 297-306, 1991.

HUNTINGFORD, Felicity; KADRI, Sunil; JOBLING, Malcolm. Introduction: aquaculture and behaviour. **Aquaculture and behavior**, p. 1-35, 2012.

JANE, Sui-Whi et al. Effects of a full-body massage on pain intensity, anxiety, and physiological relaxation in Taiwanese patients with metastatic bone pain: a pilot study. **Journal of pain and symptom management**, v. 37, n. 4, p. 754-763, 2009.

JOHN, Leonie et al. Body coloration as a dynamic signal during intrasexual communication in a cichlid fish. **Bmc Zoology**, v. 6, n. 1, p. 9, 2021.

KACPRZAK, Victoria et al. Dopaminergic control of anxiety in young and aged zebrafish. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 157, p. 1-8, 2017.

KADRY, Vivian Oliveira; BARRETO, Rodrigo Egydio. Environmental enrichment reduces aggression of pearl cichlid, Geophagus brasiliensis, during resident-intruder interactions. **Neotropical Ichthyology**, v. 8, p. 329-332, 2010.

KELLER-COSTA, Tina; CANÁRIO, Adelino VM; HUBBARD, Peter C. Chemical communication in cichlids: a mini-review. **General and comparative endocrinology**, v. 221, p. 64-74, 2015.

KENNY, Elspeth; BIRKHEAD, Tim R.; GREEN, Jonathan P. Allopreening in birds is associated with parental cooperation over offspring care and stable pair bonds across years. **Behav. Ecol.**, v. 28, n. 4, p. 1142-1148, 2017.

KEVERNE, Eric B.; MARTENSZ, Nicholas D.; TUITE, Bernadette. Beta-endorphin concentrations in cerebrospinal fluid of monkeys are influenced by grooming relationships. **Psychoneuroendocrinology**, v. 14, n. 1-2, p. 155-161, 1989.

LAN, Zhaohui et al. Modulatory effect of dopamine receptor 5 on the neurosecretory Dahlgren cells of the olive flounder, Paralichthys olivaceus. **General and Comparative Endocrinology**, v. 266, p. 67-77, 2018.

LI, Ping et al. Cloning and spatial and temporal expression of the zebrafish dopamine D1 receptor. **Developmental dynamics: an official publication of the American Association of Anatomists**, v. 236, n. 5, p. 1339-1346, 2007.

LILLESAAR, Christina. The serotonergic system in fish. **Journal of chemical neuroanatomy**, v. 41, n. 4, p. 294-308, 2011.

LLOYD, Donna M.; MCGLONE, Francis P.; YOSIPOVITCH, Gil. Somatosensory pleasure circuit: from skin to brain and back. **Experimental dermatology**, v. 24, n. 5, p. 321-324, 2015.

MARUSKA, Karen *et al.* Social plasticity in the fish brain: Neuroscientific and ethological aspects. **Brain Research**, v. 1711, p. 156-172, 2019.

MARUYAMA, Kimiko et al. Tactile skin stimulation increases dopamine release in the nucleus accumbens in rats. **The journal of physiological sciences**, v. 62, p. 259-266, 2012.

MATSUI, Hideaki. Dopamine system, cerebellum, and nucleus ruber in fish and mammals. **Development, growth & differentiation**, v. 59, n. 4, p. 219-227, 2017.

MAXIMINO, Caio; HERCULANO, Anderson Manoel. A review of monoaminergic neuropsychopharmacology in zebrafish. **Zebrafish**, v. 7, n. 4, p. 359-378, 2010.

MESSIAS, João PM et al. Dopamine disruption increases negotiation for cooperative interactions in a fish. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 20817, 2016a.

MESSIAS, Joao PM et al. Stimulation of dopamine D1 receptor improves learning capacity in cooperating cleaner fish. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1823, p. 20152272, 2016b.

MIYAI, C. A., SANCHES, F. H. C., COSTA, T. M., COLPO, K. D., VOLPATO, G. L., & BARRETO, R. E. The correlation between subordinate fish eye colour and received attacks: a negative social feedback mechanism for the reduction of aggression during the formation of dominance hierarchies. **Zoology**, v. 114, n. 6, p. 335-339, 2011.

MOK, EY-M.; MUNRO, A. D. Effects of dopaminergic drugs on locomotor activity in teleost fish of the genus Oreochromis (Cichlidae): involvement of the telencephalon. **Physiology & Behavior**, v. 64, n. 3, p. 227-234, 1998.

MUNRO, A. D.; PITCHER, T. J. Steroid hormones and agonistic behavior in a cichlid teleost, Aequidens pulcher. **Hormones and Behavior**, v. 19, n. 4, p. 353-371, 1985.

NÄSLUND, Joacim; JOHNSSON, Jörgen I. Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. **Fish and Fisheries**, v. 17, n. 1, p. 1-30, 2016.

NELISSEN, Mark HJ. Sound Production By Some Tanganyikan Cichlid Fishes and a Hypothesis for the Evolution of the r communication Mechanisnis. **Behaviour**, v. 64, n. 1-2, p. 137-147, 1978.

NUMMENMAA, Lauri et al. Social touch modulates endogenous μ-opioid system activity in humans. **NeuroImage**, v. 138, p. 242-247, 2016.

OJELADE, O. et al. Social isolation impairs feed intake, growth and behavioural patterns of catfish under culture conditions. **animal**, v. 16, n. 5, p. 100521, 2022.

OLIVEIRA, Ana Rita et al. Structural enrichment promotes natural behaviour and welfare of captive gilthead seabream broodstock. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 275, p. 106289, 2024.

PARTAN, Sarah; MARLER, Peter. Communication goes multimodal. **Science**, v. 283, n. 5406, p. 1272-1273, 1999.

PAULA, José R. *et al.* The role of serotonin in the modulation of cooperative behavior. **Behavioral Ecology**, v. 26, n. 4, p. 1005-1012, 2015.

PETIT, Odile. Social competition and conflict resolution. In: Koob, G.F., Le Moal, M., Thompson, R.F. (Eds.), **Encyclopedia of Behavioral Neuroscience. Elsevier**, Amsterdam, Netherlands, p. 276–281, 2010.

POTTINGER, Thomas G. The stress response in fish-mechanisms, effects and measurement. **Fish welfare**, p. 32-48, 2008.

PROBST, Johanna K. et al. Influence of gentle touching applied few weeks before slaughter on avoidance distance and slaughter stress in finishing cattle. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 144, n. 1-2, p. 14-21, 2013.

QUINONES, Andrés E. et al. Negotiation and appeasement can be more effective drivers of sociality than kin selection. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 371, n. 1687, p. 20150089, 2016.

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 05 agosto 2024.

RAMALLO, Martín Roberto et al. The endocrine regulation of cichlids social and reproductive behavior through the eyes of the chanchita, Cichlasoma dimerus (Percomorpha; Cichlidae). **Journal of Physiology-Paris**, v. 108, n. 2-3, p. 194-202, 2014.

RAMBO, Cassiano L. et al. Gender differences in aggression and cortisol levels in zebrafish subjected to unpredictable chronic stress. **Physiology & behavior**, v. 171, p. 50-54, 2017.

REDDON, Adam R.; RUBERTO, Tommaso; READER, Simon M. Submission signals in animal groups. **Behaviour**, v. 159, n. 1, p. 1-20, 2021.

ROBBINS, Trevor W.; EVERITT, Barry J. Neurobehavioural mechanisms of reward and motivation. **Current opinion in neurobiology**, v. 6, n. 2, p. 228-236, 1996.

ROMANELLI, Robert J.; WILLIAMS, John T.; NEVE, Kim A. Dopamine receptor signaling: intracellular pathways to behavior. **The dopamine receptors**, p. 137-173, 2010.

RUBERTO, T; TALBOT, JL.; REDDON, AR. Head up displays are a submission signal in the group-living daffodil cichlid. **Behavioural Processes**, v. 181, p. 104271, 2020.

RUBERTO, Tommaso; SWANEY, William T.; REDDON, Adam R. Submissive behavior is affected by territory structure in a social fish. **Current Zoology**, p. zoae014, 2024.

RUSHEEN, Aaron E. et al. Deep brain stimulation alleviates tics in Tourette syndrome via striatal dopamine transmission. **Brain**, v. 146, n. 10, p. 4174-4190, 2023.

SALAMONE, John D.; CORREA, Mercè. The mysterious motivational functions of mesolimbic dopamine. **Neuron**, v. 76, n. 3, p. 470-485, 2012.

SATOH, S., OTA, K., AWATA, S., & KOHDA, M. Dynamics of sibling aggression of a cichlid fish in Lake Tanganyika. **Hydrobiologia**, v. 832, n. 1, p. 201-213, 2019.

SATOH, Takemasa et al. Dopamine neurons encode teaching signals for learning reward-based decision strategy. In: **International Congress Series**. Elsevier, 2003. p. 311-318.

SCAIA, María Florencia et al. Fighting cichlids: An integrated multimodal analysis to understand female and male aggression in Cichlasoma dimerus. **Hormones and Behavior**, v. 148, p. 105301, 2023.

SCAIA, María Florencia et al. Fighting cichlids: dynamic of intrasexual aggression in dyadic agonistic encounters. **Behavioural processes**, v. 147, p. 61-69, 2018.

SCAIA, María Florencia; CAVALLINO, Luciano; PANDOLFI, Matías. Social control of spermatogenesis and steroidogenesis in cichlid fish: a comparative approach. **Reproduction**, v. 159, n. 1, p. R31-R43, 2020.

SCERBINA, Tanya; CHATTERJEE, Diptendu; GERLAI, Robert. Dopamine receptor antagonism disrupts social preference in zebrafish: a strain comparison study. **Amino acids**, v. 43, p. 2059-2072, 2012.

SCHMIED, Claudia et al. Effect of previous stroking on reactions to a veterinary procedure: behaviour and heart rate of dairy cows. **Interaction Studies**, v. 11, n. 3, p. 467-481, 2010.

SCHULTZ, Wolfram. Dopamine reward prediction error coding. **Dialogues in clinical neuroscience**, v. 18, n. 1, p. 23-32, 2016.

SCHULTZ, Wolfram. Predictive reward signal of dopamine neurons. **Journal of neurophysiology**, 1998.

SEFC, Kristina M.; BROWN, Alexandria C.; CLOTFELTER, Ethan D. Carotenoid-based coloration in cichlid fishes. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 173, p. 42-51, 2014.

SHUTT, Kathryn et al. Grooming in Barbary macaques: better to give than to receive?. **Biology Letters**, v. 3, n. 3, p. 231-233, 2007.

SMEETS, Wilhelmus JAJ; GONZÁLEZ, Agustin. Catecholamine systems in the brain of vertebrates: new perspectives through a comparative approach. **Brain research reviews**, v. 33, n. 2-3, p. 308-379, 2000.

SOARES, Marta C. et al. Tactile stimulation lowers stress in fish. **Nature Communications**, v. 2, n. 1, p. 534, 2011.

SOARES, Marta C.; SANTOS, Teresa P.; MESSIAS, João PM. Dopamine disruption increases cleanerfish cooperative investment in novel client partners. **Royal Society open science**, v. 4, n. 5, p. 160609, 2017.

TABORSKY, Michael. Cichlid fishes: a model for the integrative study of social behavior. Cooperative breeding in vertebrates. **Cambridge University Press**, Cambridge, p. 272-293, 2016.

TALLET, Céline et al. Behavioural and physiological reactions of piglets to gentle tactile interactions vary according to their previous experience with humans. **Livestock Science**, v. 167, p. 331-341, 2014.

TERESA, Fabrício Barreto; GONÇALVES-DE-FREITAS, Eliane. Reproductive behavior and parental roles of the cichlid fish Laetacara araguaiae. **Neotropical Ichthyology**, v. 9, p. 355-362, 2011.

THIRUMALAI, Vatsala; CLINE, Hollis T. Endogenous dopamine suppresses initiation of swimming in prefeeding zebrafish larvae. **Journal of neurophysiology**, v. 100, n. 3, p. 1635-1648, 2008.

TIBBETTS, Elizabeth A.; PARDO-SANCHEZ, Juanita; WEISE, Chloe. The establishment and maintenance of dominance hierarchies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 377, n. 1845, p. 20200450, 2022.

TORREZANI, Camila Sobral et al. Structural enrichment reduces aggression in Tilapia rendalli. **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, v. 46, n. 3, p. 183-190, 2013.

VALLONE, Daniela; PICETTI, Roberto; BORRELLI, Emiliana. Structure and function of dopamine receptors. **Neuroscience & biobehavioral reviews**, v. 24, n. 1, p. 125-132, 2000.

WENDELAAR BONGA, Sjoerd E. The stress response in fish. **Physiological reviews**, v. 77, n. 3, p. 591-625, 1997.

WITTIG, Roman M. et al. Focused grooming networks and stress alleviation in wild female baboons. **Hormones and behavior**, v. 54, n. 1, p. 170-177, 2008.