

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 27/02/2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Resposta para diferentes tipos de odores
depende do contexto agressivo em matrinxã,
Brycon amazonicus.**

Ana Paula Montedor Russi

Jaboticabal, SP

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Resposta para diferentes tipos de odores
depende do contexto agressivo em matrinxã,
Brycon amazonicus.**

Ana Paula Montedor Russi

**Orientador: Dra. Profa. Elisabeth Criscuolo Urbinati
Co-orientadora: Dra. Mônica Serra**

Tese apresentada ao
Programa de Pós-graduação
em Aquicultura da UNESP –
CAUNESP, como parte dos
requisitos para obtenção do
título de Doutor.

Jaboticabal, SP
2018

M773r Montedor-Russi, Ana Paula
Resposta para diferentes tipos de odores depende do contexto agressivo em matrinxã, *Brycon amazonicus* / Ana Paula Montedor Russi. -- Jaboticabal, 2018
lxx, 72 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura da Unesp, 2018

Orientadora: Elisabeth Criscuolo Urbinati

Co-orientadora: Mônica Serra

Banca examinadora: Percília Cardoso Giaquinto, Luciane Helena Gargaglioni Batalhão, Luciana Thie Seki Dias

Bibliografia

1. Comunicação química. 2. Peixes. 3. Comportamento. I. Título. II. Jaboticabal- Centro de Aquicultura da Unesp.

CDU 639.3:591.5

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Respostas para diferentes tipos de odores do contexto agressivo em matrinxã, *Brycon amazonicus*

AUTORA: ANA PAULA MONTEADOR

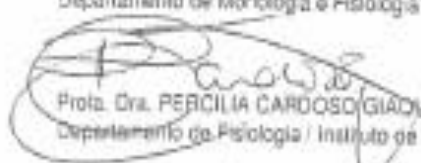
ORIENTADORA: ELISABETH CRISCUOLO URBINATI

COORIENTADORA: MÔNICA SERRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:



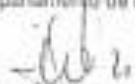
Profa. Dra. ELISABETH CRISCUOLO URBINATI
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. PERCÍLIA CARDOSO GIADOMINTO,
Departamento de Psicologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Profa. Dra. LUCIANE HELENA GREGAGKIONI BATALHÃO
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. LUCIANA THIE SEKI DIAS
Centro de Ciências Agrárias / Universidade Federal de São Carlos



Dr. FÁBIO SABBADIN ZANUZZO
Department of Ocean Sciences / Memorial University of Newfoundland, Canada

Jaboticabal, 27 de fevereiro de 2018

Sumário

RESUMO GERAL	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1: Introdução Geral	4
1. A importância do matrinxã no contexto da aquicultura nacional.....	5
2. Comportamento e comunicação química.....	6
3. Estresse e comunicação química.....	9
4. Referências.....	12
CAPÍTULO 2: Resposta de alarme a odor de coespecífico machucado depende da concentração e do contexto em juvenis de matrinxãs, <i>Brycon amazonicus</i>	19
Resumo	20
Abstract	21
1. Introdução	22
2. Material e métodos	24
2.1. Animais e aclimação.....	24
2.2. Tratamentos	24
2.3. Delineamento Experimental.....	25
2.4. Testes comportamentais.....	26
2.4.1. Testes comportamentais de alarme Experimento 1.....	26
2.4.2. Testes comportamentais de agressividade Experimento 2.....	27
2.5. Preparação do extrato de pele, do odor de animal machucado e odores de diferentes condições sociais.....	28
2.6. Análises fisiológicas de estresse.....	31
2.7. Análise estatística.....	32
3. Nota ética	32
4. Resultados	32
4.1. Resultados Experimento 1.....	32
4.1.1. Tempo de locomoção ao longo das adições dos odores em cada tratamento.....	33
4.1.2. Número de cruzamentos nos quadrantes ao longo das adições dos odores em cada tratamento.....	33
4.1.3. Frequência da resposta bifásica.....	35
4.1.4. Comparação entre tratamentos no período basal e adições 1, 2 e 3.....	36
4.1.4.1. Período basal.....	36
4.1.4.2. Adições 1, 2 e 3 dos diferentes odores.....	36
4.1.5. Parâmetros fisiológicos de estresse – cortisol e glicose.....	37
4.2. Resultados Experimento 2.....	38
4.2.1. Número de mordidas ao longo adições dos odores em cada tratamento.....	39

4.2.2. Número de demonstrações ao longo adições dos odores em cada tratamento.....	39
4.2.3. Número de investidas ao longo adições dos odores em cada tratamento.....	40
4.2.4. Tempo de locomoção ao longo adições dos odores em cada tratamento.....	41
4.2.5. Tempo que o peixe permaneceu longe do espelho.....	42
4.2.6. Frequência da resposta bifásica.....	43
4.2.7. Comparação entre tratamentos no período basal e nas adições 1, 2 e 3.....	43
4.2.7.1. Período basal.....	43
4.2.7.2. Adições 1, 2 e 3 dos diferentes odores.....	43
4.6. Parâmetros fisiológicos de estresse – cortisol e glicose.....	42
5. Discussão.....	46
6. Conclusão.....	54
7. Referências.....	54
Anexo 1.....	61
Anexo 2.....	62
Anexo 3.....	63

AGRADECIMENTOS

À Profª Beth, por me apoiar e me dar forças nos momentos mais difíceis (e olha que não foram poucos!rs)! Por fazer valer a pena continuar quando eu já estava quase desistindo! Por toda a doçura sempre! Por toda a paciência! Por todos os ensinamentos! Pelo exemplo de pessoa, sempre muito amável! Muito obrigada por ter tornado tudo mais simples!

À minha co-orientadora Mônica Serra, que amo tanto! Amor, mutíssimo obrigada pelo apoio, pela ajuda incansável (até mesmo nos fins de semana! rs) pela paciência, pelos ensinamentos diários e, principalmente, por te confiado em mim para fazer esse trabalho! Seu apoio foi fundamental para mim, muito obrigada!

A banca por aceitarem nosso convite e pelas grandes sugestões feitas.

Aos meus pais, Maria e Francisco, sem os quais eu não teria chegado até aqui. Muito obrigado por investirem tanto em minha educação e pelo incansável apoio. Obrigada pelo exemplo de seres humanos que são para mim, Luciano e Andréia. Obrigada por tudo! Amo ser filha de vocês, Deus não poderia ter escolhido pais melhores!

Ao meu irmãos, Luciano e Andréia, pelo apoio e pelos cuidados com a irmã mais novinha. Sempre me espelhei nos dois para chegar até aqui, obrigado!

Aos meus cunhados, mais que queridos, pelo companheirismo e por tornarem os dias da família mais gostosos com as delícias, João Vitor e Maria Cecília! Amo ser tia dessas fofuras!

Ao Marcel, minha melhor escolha, meu muito obrigada! Você torna meus dias mais gostosos! Por me ajudar a lavar muitos aquários nos fins de semana e, também, pela ajuda na limpeza das caixas de matrinxãs, mesmo tomando algumas mordidas nos dedos! Obrigada pela ajuda incansável sempre! Pelo apoio incondicional nesses anos de doutorado, que muitas vezes precisei de colo e você estava presente sempre! Te amo!

À todos os colegas do laboratório que me acolheram (mais uma vez! Rs) tão prontamente desde que cheguei. Aprendo muito com vocês e também dou muita risada! É muito bom estar com vocês sempre! Meu agradecimento, mais que especial, a Dri e a Lari, pela ajuda na lavagem dos aquários, todos os dias...muitas vezes deixando de fazer suas coisas para me ajudar! Muito obrigada!

À nossa Damares, pelo apoio em todos os momentos, por nos socorrer no laboratório sempre, por toda a ajuda no meu experimento (lavou bastante aquário mesmo estando com uma dor daquelas nas costas!). Muito obrigada Dá!

A todos, que de alguma maneira contribuíram na realização deste trabalho.

FINANCIAMENTO:

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES (Bolsa
Doutorado

RESUMO GERAL

Substâncias químicas podem se dissolver facilmente na água, facilitando a comunicação química. No entanto, pouco se sabe como ela ocorre nos peixes e se afeta respostas de estresse e, ainda, a influência da mesma em peixes de diferentes condições sociais. Para isso, conduzimos dois experimentos com o peixe matrinxã, *Brycon amazonicus*. O delineamento do experimento 1 consistiu em testar se extrato de pele em diferentes concentrações e odor de coespecífico machucado podem provocar respostas comportamentais de alarme e estresse. Para isso, testamos os seguintes tratamentos: água pura (AP); extrato de pele controle (EC), extrato de pele diluído (E-) e extrato de pele concentrado (E+) (5,5 µl/L, 2,7 µl /L e 11,0µl /L, respectivamente); ou água contendo odor de peixe machucado (Mac) (machucados advindos de briga com coespecífico). O comportamento dos peixes foi registrado antes e depois das adições (três adições), em cada tratamento (n=12). No Experimento 2, o delineamento consistiu em testar se odores de coespecíficos de diferentes condições sociais afetam o comportamento agressivo e as respostas de estresse. Para isso, matrinxãs foram isolados em aquário contendo um espelho, e após o início do confronto agressivo, foram feitas três adições (uma a cada treze minutos) de odor de coespecífico (n=21), dos seguintes tratamentos: AP; EC; Mac; vencedor Venc; perdedor – Perd; isolado – Isol. Analisamos as respostas comportamentais de alarme como, a atividade de locomoção (Exp. 1 e 2), tempo que o peixe permaneceu longe do espelho e, também, comportamentos agressivos no Experimento 2. Como indicadores de estresse utilizamos cortisol e glicose. O extrato provocou respostas comportamentais de alarme em ambos os experimentos, mostrando ser um odor artificialmente muito concentrado, provocando resposta de alarme em qualquer contexto. Já no tratamento Mac houve respostas de alarme no Experimento 1. No entanto, no Experimento 2 houve aumento progressivo da agressividade, sendo possível que nesse contexto o odor de um peixe machucado pode ser interpretado como sinal de que o indivíduo está vencendo a luta. Cortisol e glicose plasmáticos não foram alterados por nenhum dos tratamentos, indicando que os tratamentos não foram distúrbios suficientes para promover respostas de estresse. Para futuras intervenções nas pisciculturas

ainda são necessários mais trabalhos básicos desse tipo de comunicação influenciando nos comportamentos dos peixes.

ABSTRACT

Chemical substances can dissolve easily in Waters, facilitating chemical communication. However, little is known how it occurs in fish and whether it affects stress responses. Furthermore, we do not know the influence of chemical communication on fish of different social conditions. For this, we conducted two experiments with the matrinxã fish, *Brycon amazonicus*. The protocol of Experiment 1 consisted of extract of skin in different concentrations and odor of injured conspecific can cause behavioral alarm and stress responses. For this, we tested the following treatments: pure water (AP); (EC), diluted skin extract (E-) and concentrated skin extract (E+) (5.5 µl / L, 2.7 µl / L and 11.0 µl / L, respectively); or water containing smell of injured conspecific fish (Mac) (simulation of injuries resulting from a fight with a specific species). Fish behavior was recorded before and after the additions (three additions) in each treatment (n = 12). In Experiment 2, the protocol consisted of testing whether conspecific odors from different social conditions affect aggressive behavior and stress responses. For this, matrinxãs were isolated in an aquarium containing a mirror, and after the beginning of the aggressive confrontation, three additions (one every thirteen minutes) of conspecific odor (n=21) were made from the following treatments: AP; EC; Mac; winner Venc; loser - Perd; isolated - Isol. We analyzed behavioral alarm responses such as the locomotion activity (Exp. 1 and 2), time the fish stayed away from the mirror and also aggressive behaviors in Experiment 2. As indicators of stress we used cortisol and glucose. In both experiments we evaluated the behavior before the additions and after the additions of each treatment. The extract elicited behavioral alarm responses in both experiments, proving to be an artificially concentrated odor capable of triggering the alarm response in any context. Already in the Mac treatment there were alarm responses in Experiment 1. However, in Experiment 2 there was a progressive increase of aggressiveness, possibly because that in this context the odor of a injured fish can be interpreted as a sign that the individual is winning the fight. Plasma cortisol and glucose were

not altered by any of the treatments, indicating that the treatments were not disturbances sufficient to promote stress responses.

CAPÍTULO 1

Introdução Geral

1. A importância do matrinxã no contexto da aquicultura nacional

A aquicultura vem crescendo em todo o mundo por ser uma importante alternativa na produção de alimentos. Um bilhão de pessoas tem o pescado como fonte principal de proteínas em sua dieta e este consumo tende a aumentar com o crescimento da população (FAO, 2016). Segundo a FAO (2016), a aquicultura é o setor de produção de alimentos com o crescimento mais rápido e representa quase 50% do pescado destinado à alimentação mundial, alcançando a produção de 97,2 milhões de toneladas em 2013. No Brasil, a produção aquícola atingiu 474.159 toneladas em 2013 (FAO, 2016) e tende a registrar um aumento na produção de 104% até 2025. No entanto, esse aumento na produção e a dependência pelo peixe cultivado aumentam os problemas associados à criação intensiva (Urbinati e Carneiro, 2004). A estagnação da pesca extrativa, aliada ao aumento populacional e à crescente demanda por proteína animal, incentiva a domesticação de novas espécies aquáticas para a aquicultura (FAO, 2016).

O Brasil é um país com grande riqueza de peixes, com espécies das mais variadas formas e tamanhos (Nelson, 1994). Dentre eles, a espécie *Brycon amazonicus*, popularmente conhecida como matrinxã, é encontrada na Bacia Amazônica. A espécie pertence à classe Actinopterygii, ordem Characiformes, família Characidae e gênero *Brycon*. A criação do matrinxã cresceu muito na década de 1990 devido o hábito voraz da espécie, tornando a espécie atrativa nas pescas esportivas. Além disso, a espécie aceita bem a ração artificial, tem crescimento rápido e carne de qualidade (Gomes e Urbinati, 2013). É um peixe de grande importância econômica na região amazônica. Além da importância na pesca, é também um dos peixes mais utilizados na aquicultura regional (Santos *et al.*, 2006).

No entanto, apesar das vantagens zootécnicas, o matrinxã é uma espécie muito agressiva em todas as suas fases de vida, sendo que os confrontos agressivos na espécie resultam não só em estresse, mas também em machucados que podem levar à morte (Urbinati *et al.*, 2015). No caso do matrinxã, essa agressividade elevada também se deve ao fato de que, mesmo após a resolução de um embate agressivo, com um vencedor e um perdedor, o confronto agressivo continua, com os ataques do vencedor aumentando ainda mais contra o perdedor (Serra *et al.*, 2017).

Essa agressividade nas espécies territoriais, como o matrinxã, pode se agravar em condições de cativeiro (Urbinati *et al.*, 2015), acarretando grandes perdas na sua criação. Portanto, entender o comportamento social dessas espécies pode ser útil para orientar estratégias de manejo nos sistemas de criação intensiva e reduzir as condições estressantes.

2. Comportamento e comunicação química

A comunicação é um processo social básico, pois ela que torna a vida em sociedade possível através da troca de informações (Palermo-Neto, 2010). Essa troca pode ocorrer de diferentes formas, podendo ser visual, tátil, química e sonora (Dunbar, 1998). No caso dos peixes, a comunicação química torna-se ainda mais importante devido ao meio que eles vivem, uma vez que a turbidez da água pode dificultar a comunicação visual (Winsenden, 2000). Além disso, o volume de informações que pode ser transmitido pela comunicação química é praticamente ilimitado, sendo a água um ótimo meio para a transmissão de sinais químicos (Hara, 1994; Ward e Mehner, 2010).

A comunicação química é usada pelos animais aquáticos para forrageamento, reprodução e também para avaliar o risco de predação (Winsenden, 2000). Ela ocorre através de substâncias liberadas no meio ambiente, podendo envolver somente alguns compostos químicos ou uma mistura de diferentes odores (Keller-Costa *et al.*, 2015). O epitélio olfatório dos peixes está localizado na cavidade nasal, que é repleta de vilosidades para aumentar a área de contato com o estímulo. Nessa cavidade estão os receptores olfatórios (neurônios bipolares) e, também células secretoras. A cavidade apresenta abertura anterior e posterior para garantir o suprimento contínuo de água no epitélio olfatório. Nos peixes, os neurônios olfatórios apresentam terminações dendríticas especializadas na detecção e transdução de estímulos químicos e se projetam para bulbo olfatório (Dogel, 1886; Zeiske *et al.*, 1992).

Na comunicação temos um organismo emissor e um receptor e, para que seja considerado comunicação, o sinal emitido deve resultar em alterações no organismo do receptor. Os sinais químicos utilizados na comunicação de peixes são diversos (Liley, 1982). No geral, as substâncias envolvidas neste tipo de comunicação são chamadas de semioquímicos. Quando os sinais agem

especificamente entre indivíduos da mesma espécie, ou seja, são percebidos por coespecíficos, são conhecidos como feromônios (Wyat, 2003), e consistem em dois tipos, os *releasers* e os *primers*. Os *releasers* são os que desencadeiam uma resposta comportamental rápida (com latência curta) no indivíduo receptor; já os *primers* desencadeiam efeitos fisiológicos de longa duração, que vão levar a alterações no metabolismo e também ativar processos regulatórios no receptor (Liley, 1982).

Alguns feromônios são também conhecidos como feromônios de alarme, ou substâncias de alarme (Pfeiffer, 1963). Uma substância só é denominada de alarme quando existe dano mecânico da pele do emissor, o que indica a presença de um predador. Pfeiffer (1963) inicialmente acreditava que somente a superordem Ostariophysi, que representa 64% de todos os peixes de água doce, apresentava essas substâncias de alarme e que estas substâncias estavam presentes em células especializadas da epiderme, denominadas células *club*. Em caso de um dano mecânico essas células *club* se rompem e as substâncias de alarme, presentes dentro delas, liberadas no ambiente. Mais tarde, foram encontradas células *club*, ou células semelhantes a elas, não somente nos Ostariophysi mas também em Percidae, Gobideos e Scorpaeniformes (Smith, 1992).

As substâncias de alarme produzem respostas denominadas por Pfeiffer (1977) como *fright reaction* ou reação de alarme. Ainda segundo esse autor, essas respostas podem variar entre as espécies. As reações de alarme são imediatas, e podem aumentar as chances de sobrevivência, indicando risco de predação (Chivers e Smith, 1998). Muitos estudos utilizam extrato feito de pele para analisar essas reações de alarme, pois as células *club* estão localizadas na pele (Pfeiffer, 1977; Mathis e Smith, 1993; Oliveira *et al.*, 2014). Nos peixes, o risco de predação leva a comportamentos antipredatórios e adaptativos, como: *freezing* (cessação da movimentação) em espécies como em zebrafish *Danio rerio* e, piaçu *Leporinus macrocephalus* (Oliveira *et al.*, 2014; Barbosa Júnior e Hoffman, 2007), *dashing* em pintado *Pseudoplatystoma coruscans* (Giaquinto e Volpato, 2001), redução da atividade de locomoção em *Bathygobius soporator* (Barreto *et al.*, 2014), aumento do uso de abrigo em *Pimephales promelas* (Lawrence e Smith, 1989), e evitação da área da substância de alarme em *P. promelas* (Mathis e Smith, 1993).

Muitos pesquisadores, no entanto, questionam se somente as células *club* estariam envolvidas na resposta anti-predatória e se as mesmas teriam outras funções. Segundo Smith (1992), se um animal sinaliza que está sendo predado, necessariamente ele precisa estar machucado para emitir essa sinalização e, na maioria das vezes, ele morre; portanto, esse animal predado não teria uma vantagem direta. Se não há vantagem em emitir a sinalização, a seleção dos indivíduos com células *club* e consequente evolução de sua presença nos peixes não poderia acontecer (Smith, 1992). Uma forma de vantagem da emissão das substâncias de alarme poderia ser o aviso a outras presas do sinal do predador. No entanto, o que poderia ocorrer, também, seria outros predadores se aproximarem do local pela possibilidade de outras presas (Smith, 1992). Até hoje, os questionamentos a respeito dos sistemas de alarme permanecem. Nesse sentido, questiona-se se essas células poderiam ter outras funções e que a função das células *club* como sistema de alarme seria secundária (Smith, 1992). Nesse sentido, Iger e Bonga (1994), analisando histologicamente as células *club* de carpas expostas a extrato de pele colocado em água ácida, encontraram evidências de linfócitos e leucócitos dentro das células *club*, o que sugeriria uma função imunológica. Outro trabalho, mostrou que *P. promelas* expostos a patógenos, parasitas e radiação UV apresentaram estimulação da produção de células *club*, mas o aumento do risco de predação não influenciou na produção dessas células, sugerindo que a função de resposta imune seria primária à função de alarme (Chivers *et al.*, 2007). Ainda, há estudos evidenciando a ocorrência de reações de alarme em peixes mesmo sem a presença do conteúdo das células *club*. Barreto *et al.* (2013) mostraram que reações de alarme (redução da alimentação e da locomoção) são suscitadas apenas com sangue de coespecífico, mesmo sem a participação das substâncias de alarme das células *club* ou da pele em tilápias-do-Nilo. Além disso, *P. promelas* apresentam respostas antipredatórias para pistas de alarme, num período de 8 a 17 dias após eclosão, embora as larvas não possuam células *club* antes de 28 – 37 dias (Carreau-Green *et al.*, 2008). Portanto, embora o extrato de pele seja largamente e eficientemente utilizado em estudos de reação de alarme em peixes, ainda faltam evidências de que são de fato as células *club* da pele a fonte das substâncias de alarme.

A comunicação química afeta vários comportamentos, e aparentemente, ela teria efeito nos comportamentos agressivos. Esses comportamentos acontecem nas espécies sociais quando recursos que são escassos (por exemplo, alimento, locais para reprodução, procura por parceiros e abrigos) são disputados (Huntingford *et al.*, 2012). Nesse sentido, alguns trabalhos analisaram se as substâncias de alarme estariam afetando o comportamento agressivo dos peixes (Wisenden, 1997; Barreto *et al.*, 2010). Wisenden (1997) mostrou que *Ciclossoma nigrofasciatum*, quando colocados em pares em um aquário e expostos a extrato de pele de animal da mesma espécie, apresentam redução da frequência de abordagens e também de mordidas. Barreto *et al.* (2010) utilizaram o paradigma intruso-residente (quando um peixe é inserido em um território que já possui um peixe residente) para avaliar as interações agressivas, e observaram que após injetarem, na água, extrato de pele de coespecíficos houve redução na frequência de agressões. A presença da substância de alarme no ambiente pode gerar um conflito motivacional nos peixes, sendo que o sistema motivacional do medo gera uma resposta de alerta, inibindo o sistema motivacional da agressividade e reduzindo os confrontos agressivos em um contexto no qual a agressividade não é prioridade. De fato, o sistema motivacional do medo, no geral, inibe o sistema motivacional da agressividade (Figler e Einhorn, 1983).

A comunicação química pode, também, influenciar aspectos muito importantes na criação de peixes. Por exemplo, há evidências de que o crescimento pode ser prejudicado por fatores químicos liberados na água, e que pistas de alarme liberadas por predadores reduzem a alimentação de alguns animais, que irão forragear somente se estiverem com fome (Milinski, 1993), podendo prejudicar o crescimento. Na realidade, ainda são poucos os trabalhos que relacionam a comunicação química no contexto da piscicultura, mas para isso é necessário conhecer os mecanismos básicos que envolvem a comunicação química, e também entender como as espécies utilizadas na piscicultura respondem a comunicação química, uma vez que as respostas são variáveis entre as espécies.

3. Estresse e a comunicação química

Os peixes, durante toda sua vida, enfrentam desafios que precisam ser superados e enfrentados para que possa sobreviver (Schreck e Tort, 2016). Esses desafios provocam alterações dos meios externo e interno que podem comprometer a homeostase do animal (Urbinati *et al.*, 2014). Para restabelecer a homeostase, ocorre uma cascata de eventos fisiológicos (Schreck e Tort, 2016) que capacitam o animal a superar a ameaça e garantir sua sobrevivência (Urbinati *et al.*, 2015), por isso o estresse é um mecanismo adaptativo. Os estressores podem ser temporários, ou agudos, mas no caso de persistência do estímulo estressor, chamados de estressores crônicos, as respostas de estresse deixam de ser adaptativas e perdem sua funcionalidade (Wendelaar Bonga, 1997; Schrek e Tort, 2016).

Em ambientes artificiais de criação, os peixes são expostos a condições inesperadas de ameaça, que diferem quanto à origem, intensidade e duração, submetendo-os a situações que vão além de sua capacidade de tolerância e que colocam em risco sua saúde (Urbinati *et al.*, 2014). Em um ambiente de piscicultura os estressores são diversos e podem ser físicos, químicos e sociais (Sneddon *et al.*, 2016). Após a percepção do estressor, os peixes apresentam um conjunto coordenado de respostas dividido em três grupos, sendo elas: as que têm início assim que o estressor é percebido, em nível neuroendócrino, e chamadas de primárias – trata-se da mobilização dos sistemas biológicos; as respostas generalizadas, que são resultado da ação neuroendócrina, e chamadas de secundárias – ajuste da condição corporal para resistir nas condições homeostáticas alteradas; e as respostas terciárias, que se caracterizam pela perda da capacidade adaptativa e exaustão dos sistemas biológicos frente ao estresse prolongado (crônico) (Urbinati *et al.*, 2014; Urbinati *et al.*, 2015). A resposta de estresse, ou seja, sua magnitude e duração, é dependente da severidade e duração do estressor (Schreck e Tort, 2016). Além disso, outros fatores também influenciam na resposta, tais como: o patrimônio genético do peixe, ambiente em que os peixes estão localizados, suas experiências anteriores e o estágio ontogenético (Schreck e Tort, 2016).

As respostas causadas pela ação do estressor nos peixes são controladas por dois eixos distintos: um complexo sistema neuroendócrino, constituído pelo sistema nervoso simpático-células cromafins, e o eixo hipotálamo-pituitária-tecido interrenal. A ativação do primeiro sistema culmina com a liberação de

catecolaminas pelas células cromafins (Fabbri e Moon, 2016), enquanto que no eixo hipotálamo-pituitária-interrenal, uma estimulação em cascata do hipotálamo leva a um aumento de CRH (hormônio liberador de corticotrofina), que, por sua vez, estimula a glândula pituitária a liberar ACTH (corticotrofina), que, liberado na corrente sanguínea, estimula as células inter-renais a produzirem glicocorticoides, principalmente o cortisol (Wendelaar Bonga, 2011; Urbinati *et al.*, 2014). Em resposta a qualquer estressor agudo, as catecolaminas aumentam rapidamente seus níveis no organismo, devido à inervação direta das células cromafins pelo sistema nervoso simpático (Fabri e Moon, 2016). Já o cortisol circulante aumenta em poucos minutos, retornando às taxas normais em uma ou mais horas, sendo ele um dos indicadores de estresse mais usado (Mommensen *et al.*, 1999). O cortisol e as catecolaminas são responsáveis pela preparação fisiológica do peixe para enfrentar o estressor, promovendo respostas fisiológicas, metabólicas e osmorregulatórias, que chamamos de respostas secundárias do estresse. Os diferentes mecanismos são: alterações metabólicas em parâmetros como glicemia, ácido láctico e glicogênio do fígado e dos músculos; hematológicas, como número de células vermelhas e brancas e, ainda, as alterações hidroeletrólíticas nas concentrações plasmáticas de íons (cloro, sódio, potássio), proteínas e na osmolaridade. Com relação à glicose, seu aumento é inicialmente devido à ação das catecolaminas na quebra do glicogênio hepático, sendo esta a primeira fonte de energia para atender a demanda do cérebro e de músculos (Urbinati *et al.*, 2014). Posteriormente, o cortisol mantém os níveis glicêmicos elevados por meio da neoglicogênese a partir de outros substratos energéticos (como aminoácidos e lipídeos), bem como estimula a restauração das reservas hepáticas de glicogênio (Wendelaar Bonga, 2011).

No caso da cronicidade da exposição dos peixes a estressores, a energia torna-se indisponível para processos vitais (Schreck e Tort, 2016), afetando o crescimento, reprodução e também a capacidade de tolerar outros agentes estressores adicionais (Wendelaar Bonga, 1997; Urbinati e Carneiro, 2004; Urbinati *et al.*, 2014). Essas são respostas que são caracterizadas como terciárias (Schreck e Tort, 2016).

Tanto a comunicação química pode resultar em estresse quanto o estresse pode influenciar a comunicação química dos peixes; no entanto, os resultados ainda são controversos. Oliveira *et al.* (2014) mostraram que *zebrafish* expostos a

substâncias de alarme de coespecíficos mortos apresentavam aumento dos níveis de cortisol, além de comportamentos defensivos, como o *freezing*. Segundo os autores, estas respostas encontradas estariam relacionadas a comportamentos antipredatórios e seriam adaptativas; de fato, o aumento dos níveis de cortisol prepara o animal para responder a situação de perigo (Wendelaar Bonga, 1997). Em tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus*, aumentos dos níveis de cortisol também foram encontrados para exposição a extratos de pele de coespecíficos (Sanches *et al.*, 2015). No entanto, alguns trabalhos relacionados à comunicação química, que apresentam respostas comportamentais de alarme, não encontraram respostas fisiológicas de estresse. Por exemplo, matrinxãs expostos a extratos de pele de coespecíficos apresentaram respostas comportamentais de alarme, sem alteração dos níveis circulantes de cortisol (Ide *et al.*, 2003). Já em jundiá, *Rhamdia quelen*, extratos de pele não provocaram nenhum tipo de resposta de estresse, sendo que os níveis sanguíneos de cortisol e glicose permaneceram inalterados (Souza-Bastos *et al.*, 2014). Em contrapartida, Barreto *et al.* (2014), através de injeções intraperitoneais de cortisol em *Frillfin goby*, observaram que o cortisol contribuiu para melhorar a resposta anti-predatória.

Como exposto, as mudanças fisiológicas de estresse em peixes relacionadas à comunicação química ainda não são claras, com alguns trabalhos mostrando que extratos de pele conduzem a respostas de estresse, enquanto em outros estudos essas respostas não aparecem, apesar da resposta comportamental de alarme. Assim, há motivação para se buscar entender como a comunicação química afeta as respostas de estresse. O entendimento dos mecanismos básicos da comunicação química e do estresse poderá contribuir para futuras intervenções nas pisciculturas, uma vez que nesses ambientes, os peixes geralmente são estocados em altas densidades e a comunicação química, nestas condições, pode ser um fator de interferência no estabelecimento de um ambiente adequado de criação.

4. Referências

Barbosa-Júnior, A., Hoffman, A. **Alarm reaction in a South American teleost fish piauçu, *Leporinus macrocephalus***. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 148, 39, 2007.

Barreto, R. E., Barbosa-Junior, A., Giassi, A. C. C., Hoffmann, A. **The club cell and behavioural and physiological responses to chemical alarm cues in the Nile tilapia**. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*. 43, 75–81, 2010.

Barreto, R. E., Miyai, C. A., Sanches, F. H. C., Giaquinto, P. C., Delicio, H. C., Volpato, G. L. **Blood cues induce antipredator behavior in Nile tilapia conspecifics**. *PLoS One* 8(1): e54642, 2013.

Barreto, R. E., Barbosa-Júnior, A., Urbinati, E. C., Hoffmann, A. **Cortisol influences the antipredator behavior induced by chemical alarm cues in the *frillfin goby***. *Hormones and Behavior*. 65, 394–400, 2014.

Carreau-Green, N. D., Mirza, R. S., Martinez, M. L., Pyle, G. G. **The ontogeny of chemically mediated antipredator responses of *fathead minnows Pimephales promelas***. *Journal of Fish Biology*. 73, 2390–2401, 2008.

Chivers, D. P., Smith, R. J. F. **Chemical Alarm Signalling in Aquatic Predator-Prey Systems: A Review and Prospectus**. *Ecoscience*. 5, 338–352, 1998.

Chivers, D. P., Wisenden, B. D., Hindman, C. J., Michalak, T. A., Kusch, R. J., Halbgewachs, C. F., Pollock, M. S., Alemadi, S., James, C. T., Savaloja, R. K., Goater, C. P., Corwin, A., Mirza, R. S., Kiesecker, J. M., Brown, G. E., Adrian, J. C., Krone, P. H., Blaustein, A. R., Mathis, A. **Epidermal ‘alarm substance’ cells of fishes maintained by non-alarm functions: possible defence against pathogens, parasites and UVB radiation**. *Proceeding of the Royal Society*. 274, 2611–2619, 2007.

Dogel, A. S. **The Structure of the Olfactory Organ in Ganoids, Teleost Fish, and Amphibians**. *Tr. Obshch. Estestvoispyt pri Kazan Univ*. 16, 3–82, 1886.

Dunbar, R. I. M. **Grooming, gossip and the evolution of language**. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press. 1998.

Fabbri, E., Moon, T. W. **Adrenergic signaling in teleost fish liver, a challenging path**. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B. 199, 74–86, 2016.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Global Aquaculture Production Statistics database update to 2013**. Fisheries and Aquaculture Department. 2015.

Figler, M. H., Einhorn. D. M. **The territorial prior residence effect in convict cichlids (*Cichlasoma nigrofasciatum* Günther): temporal aspects of establishment and retention, and proximate mechanisms**. Behaviour. 85, 157–183, 1983.

Giaquinto, P. C., Volpato, G. L. **Hunger suppresses the onset and the freezing component of the antipredator response to Conspecific skin extract in pintado catfish**. Behaviour. 138, 1205-1214, 2001.

Gomes, L. C., Urbinati, E. C. **Matrinxã *Brycon amazonicus***. In: Baldisseroto, B., Gomes. L. C. (Org.). Espécies Nativas para piscicultura no Brasil. 2ed. Santa Maria: Editora UFSM, 149-167, 2013.

Hara, T. J. **The diversity of chemical stimulation in fish olfaction and gestation**. Reviews in Fish Biology and Fisheries 4, 1–35, 1994.

Huntingford, F., Tamilselvan, P., Jenjan, H. **Why Do Some Fish Fight More than Others?** Physiological and Biochemical Zoology. 85(6), 585–593, 2012.

Ide, L. M., Urbinati E. C., Hoffmann, A. **The role of olfaction in the behavioural and physiological responses to conspecific skin extract in *Brycon cephalus***. Journal of Fish Biology. 63, 332-343, 2003.

Iger, S. E., Wendelaar, B. **Cellular responses of the skin of carp (*Cyprinus carpio*) exposed to acidified water.** Cell & Tissue Research. 275, 481-492, 1994.

Kasumyan, A. O. **The Olfactory System in Fish: Structure, Function, and Role in Behavior.** Journal of Ichthyology. 44, S180–S223, 2004.

Keller-Costa, T., Canário, A. D. M., Hubbard, P. C. **Chemical communication in cichlids: A mini-review.** General and Comparative Endocrinology. 221, 64-74, 2015.

Lawrence, B. J., Smith, R. J. F. **Behavioral response of solitary fathead minnows, *Pimephales promelas*, to alarm substance.** Journal of Chemical Ecology. 15, 1, 1989.

Liley, N. R. **Chemical communication in fish.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 39, 22-35, 1982.

Mathis, A., Smith, R. J. F. **Fathead Minnows *Pimephales promelas* Learn to Recognize Northern Pike *Esox lucius* as Predator on the Basis of Chemical Stimuli from Minnows in the Pike's Diet.** Animal Behavior. 46, 645–656, 1993.

Milinsky, M. **Predation risk and feeding behaviour.** In: Pitcher, T. J., editor. Behaviour of Teleost Fishes, Chapman and Hall, London. 285-305, 1993.

Mommsen, T. P., Vijayan, M. M., Moon, T. W. **Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation.** Reviews in Fish Biology and Fisheries. 9, 211–268, 1999.

Nelson, J. S. **Fishes of the world.** New York: John Wiley & Sons. 600, 1994.

Oliveira, T. A., Gessi, K., Motta, A. C., Piato, A. L., Barreto, R. E., Volpato, G. L., Barcellos, L. J. G. **Death-associated odors induce stress in zebrafish.** Hormones and Behavior. 65, 340–344, 2014.

Palermo-Neto, J. **A comunicação dos animais**. Revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária, Brasília, 16 (49), 24-34, 2010.

Pfeiffer, W. **The Fright Reaction of Fish**. Biological Reviews. Cambridge Phil. Soc. 37, 495–511, 1963.

Pfeiffer, W. **The Distribution of Fright Reaction and Alarm Substance Cells in Fishes**. Copeia. 4, 653–665, 1977.

Sanches, F. H. C., Miyai, C. A., Pinho-Neto, C. F., Barreto, R. E. **Stress responses to chemical alarm cues in Nile tilapia**. Physiology & Behavior. 149, 8–13, 2015.

Santos, G. M., Ferreira, E. J. G., Jansen A. S. **Peixes comerciais de Manaus**. Manaus: Ibama/AM, ProVárzea. 144, 2006.

Schreck, C. B., Tort, L. **The concept of stress in fish**. In: Biology of Stress in Fish. Fish and Physiology. Part 1. 35, 37, 2016.

Serra, M., Wolkers, C. P. B., Mello, M. M. M., Urbinati, E. C. **Agonistic trials with mirrors do not elicit the same aggressiveness of a real trial in the matrinxã fish, *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829)**. Journal of Applied Ichthyology. 33, 42–46, 2017.

Smith, R. J. F. **Alarm Signals in Fishes**. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2, 33–63, 1992.

Sneddon, L. U., Wolfenden, D. C.C., Thomson, J. S. **Stress Management and Welfare**. In: Biology of Stress in Fish. Fish and Physiology. Part 12. 35, 77, 2016.

Souza-Bastos, L. R., Freire, C. A., Fernandes-de-Castilho, M. **Skin extract from *Rhamdia quelen* (Siluriformes: Heptapteridae) does not promote stress in conspecifics**. Neotropical Ichthyology. 12(1), 125-132, 2014.

Urbinati, E. C., Carneiro, P. C. F. **Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura.** In: Cyrino, J. E. P., Urbinati, E. C., Fracalossi, D. M., Castagnolli, N. (Ed.). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática. 71-193, 2004.

Urbinati, E. C., Zanuzzo, F. S., Biller-Takahashi, J. D. **Estresse e sistema imune em peixes.** In: Baldisserotto, B., Cyrino, J. E. P., Urbinati, E. C. Biologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce. Jaboticabal. FUNEP. 87-105, 2014.

Urbinati, E. C., Zanuzzo, F. S., Serra, M., Wolkers, C. P. B., Sabioni, R. E. **Avanços da fisiologia do estresse e suas implicações em espécies nativas.** In: Tavares-Dias, M. Mariano, W. S. Aquicultura no Brasil: novas perspectivas. 1, 429, 2015.

Ward, A. J. W., Mehner, T. **Multimodal mixed messages: the use of multiple cues allows greater accuracy in social recognition and predator detection decisions in the mosquitofish, *Gambusia holbrooki*.** Behavioral Ecology. 21, 1315–1320, 2010.

Wendelaar Bonga, S. E. **The stress response in fish.** Physiological Reviews. 77(3), 591-625, 1997.

Wendelaar Bonga, S. E. **Hormone Response to Stress.** In: Farrel, A. P., Cech, J. J., Richards, J. G., Stevens, E. D. (Ed.). Encyclopedia of Fish Physiology: from genome to environment. Elsevier Academic Press Inc, UK, 1515-1523, 2011.

Wisenden, B. D., Smith. R. J. F. **The effect of physical condition and shoalmate familiarity on proliferation of alarm substance cells in the epidermis of fathead minnows.** Journal of Fish Biology 50, 799-808, 1997.

Wisenden, B. D. **Olfactory assessment of predation risk in the aquatic environment**. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 355(B), 1205-1208, 2000.

Wyatt, T. D. **Pheromones and Animal Behaviour: communication by smell and taste**. Cambridge University Press. Cambridge. 2003.

Zeiske, E., Theisen B., Breucker, H. **“Structure, Development and Evolutionary Aspects of the Peripheral Olfactory System”**. in *Fish Chemoreception*, Ed. By T. J. Hara. Chapman and Hall, London, 13–39, 1992.

6. Conclusão

Extrato de pele é um estímulo mais intenso que mesmo em contexto agressivo ainda provoca resposta de alarme. Além disso, nenhum dos estímulos, em ambos os estudos, provocou respostas de estresse nos peixes. Essa resposta pode ser atribuída a característica da resposta de não requerer um grande aporte energético e, por isso, não termos observado aumento dos níveis de cortisol e glicose. No entanto, também é viável pensar que essa pode ser uma característica da espécie, uma maior resistência ao estresse. Observamos que a comunicação química influencia nos comportamentos dos peixes, podendo ser um fator de importância nos peixes de pisciculturas, que se encontram em altas densidade de estocagem. Quanto a aplicabilidade ainda são necessários mais trabalhos a respeito da comunicação química para responder questões básicas da mesma para que possamos ter futuras aplicações

7. Referências

Baenninger, R. **Fighting by *Betta splendens*: Effects on aggressive displaying by conspecifics**. Psychonomic Science, 10: 185-186, 1968.

Barbosa-Júnior, A., Hoffman, A. **Alarm reaction in a South American teleost fish piauçu, *Leporinus macrocephalus***. Comparative Biochemistry and Physiology. 148, 39, 2007.

Barreto, R. E., Barbosa-Junior, A., Giassi, A. C. C., Hoffmann, A. **The club cell and behavioural and physiological responses to chemical alarm cues in the Nile tilapia**. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. 43, 75–81, 2010.

Barreto, R. E., Barbosa-Júnior, A., Urbinati, E. C., Hoffmann, A. **Cortisol influences the antipredator behavior induced by chemical alarm cues in the *frillfin goby***. Hormones and Behavior. 65, 394–400, 2014.

Brown, J., Walker, S.E., Steinmain, K. Endocrine manual for the reproductive assessment of domestic and non-domestics species. Virginia, EUA, 2004.

Castro, A. L. S., Goncalves-de-Freitas, E., Volpato G. L., Oliveira, C., **Visual communication stimulates reproduction in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.)**. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 42, 368-374, 2009.

Chivers, D. P. Smith, R. J. F. **“Chemical Alarm Signalling in Aquatic Predator-Prey Systems: A Review and Prospectus”**. Ecoscience 5, 338–352, 1998.

Courtenay, S. C., Quinn, T. P., Dupuis, H. M. C. **“Factors Affecting the Recognition of Population-Specific Odours by Juvenile Coho Salmon,”** Journal of Fish Biology. 50, 1042–1060, 1997.

Desjardins JK, Fernald RD. **What do fish make of mirror images?** Biology Letters. 6: 744-747, 2010.

Dunbar, R. I. M. **Grooming, gossip and the evolution of language**. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press. 1998.

Fabbri, E., Moon, T. W. **Adrenergic signaling in teleost fish liver, a challenging path.** *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B.* 199, 74–86, 2016.

Ferraz, F. B., Gomes, L. C. **Social relationship as inducer of immunological and stress responses in matrinxã (*Brycon amazonicus*).** *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 153, 293–296, 2009.

Fraser, D. F., Huntingford, F. A. **Feeding and avoiding predation hazard: the behavioral response of the prey.** *Ethology* 73, 56.68, 1986.

Galhardo, L.; Vital, J.; Oliveira, R. F. **Psychological Stress and Welfare in Fish.** *Annual Review of Biomedical Sciences.* 11, 1-20, 2009.

Gonçalves-de-Freitas, E., Mariguela, T. C. **Social isolation and aggressiveness in the amazonian juvenile fish *Astronotus ocellatus*.** *Brazilian Journal of Biology.* 66(1B), 233-238, 2006.

Gonçalves-de-Freitas, E., Teresa, F. B., Gomes, F. S., Giaquinto, P. C. Effect of water renewal on dominance hierarchy of juvenile Nile tilapia. *Applied Animal Behavior Science.* 112, 187–195, 2008.

Helfman, G. S. **Threat-sensitive predator avoidance in damselfish-trumpetfish interactions.** *Behavioral Ecology and Sociobiology.* 24, 47-58, 1989.

Holtby L. B., Swain D. P., Allan G. M. **Mirror-elicited agonistic behavior and body morphology as predictors of dominance status in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*).** *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 50: 676-684, 1993.

Hoshiba, M. A., Gonçalves, F. D., Urbinati, E. C. **Respostas fisiológicas de estresse no matrinxã (*Brycon amazonicus*) após exercício físico intenso durante a captura.** *Acta Amazônica.* 39(2), 445 – 452, 2009.

Hussain, A., Saraivaa, L. R., Ferrerob, D. M., Ahujaa, G. Krishnaa, V. S., Liberlesb, S. D., Korschinga, S. I. **High-affinity olfactory receptor for the death-**

associated odor cadaverine. Proceedings of the National Academy of Sciences. 110, 48, 2013.

Ide, L. M., Urbinati E. C., Hoffmann, A. **The role of olfaction in the behavioural and physiological responses to conspecific skin extract in *Brycon cephalus*.** Journal of Fish Biology. 63, 332-343, 2003.

Johnsson J. I., Parkkonen J., Forlin L. **Reduced territorial defence in rainbow trout fry exposed to a paper mill effluent: using the mirror image stimulation test as a behavioural bioassay.** Journal of Fish Biology. 62, 959-964, 2003.

Kasumyan, A. O. **The Olfactory System in Fish: Structure, Function, and Role in Behavior.** Journal of Ichthyology. 44, S180–S223, 2004.

Keller-Costa, T., Canário, A. D. M., Hubbard, P. C. **Chemical communication in cichlids: A mini-review.** General and Comparative Endocrinology. 221, 64-74, 2015.

Lawrence, B. J., Smith, R. J. F. **Behavioral response of solitary fathead minnows, *Pimephales promelas*, to alarm substance.** Journal of Chemical Ecology. 15, 1, 1989.

Mathis, A., Smith, R. J. F. **Fathead Minnows *Pimephales promelas* Learn to Recognize Northern Pike *Esox lucius* as Predator on the Basis of Chemical Stimuli from Minnows in the Pike's Diet.** Animal Behavior. 46, 645–656, 1993.

Milinsky, M. **Predation risk and feeding behaviour.** In: Pitcher, T. J., editor. Behaviour of Teleost Fishes, Chapman and Hall, London. 285-305, 1993.

Mommsen, T. P., Vijayan, M. M., Moon, T. W. **Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation.** Reviews in Fish Biology and Fisheries. 9, 211–268, 1999.

Noakes, D. L. G., Jones, K. M. M. **Cognition, learning and behavior**. Fish and Physiology. Part 9. 35, 32, 2016.

Oliveira, R. F., McGregor, P. K., Latruffe, C. **Know Thine Enemy: Fighting Fish Gather Information from Observing Conspecific Interactions**. Proceedings: Biological Sciences, 265(1401), 1045-1049, 1998.

Oliveira, T. A., Gessi, K., Motta, A. C., Piato, A. L., Barreto, R. E., Volpato, G. L., Barcellos, L. J. G. **Death-associated odors induce stress in zebrafish**. Hormones and Behavior. 65, 340–344, 2014.

Olsén, K. H., Grahn, M., Lohm, J. **Influence of MHC on sibling discrimination in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.)**. Journal of Chemical Ecology. 28, 783–796, 2002.

Pfeiffer, W. **The Distribution of Fright Reaction and Alarm Substance Cells in Fishes**. Copeia. 4, 653–665, 1977.

Pfeiffer, W. **The Fright Reaction of Fish**. Biological Reviews. Cambridge Phil. Soc. 37, 495–511, 1963.

Reddon, A. R., O'Connor, C. M., Marsh-Rollo, S. E., Balshine S. **Effects of isotocin on social responses in a cooperatively breeding fish**. Animal Behaviour. 84, 753-760, 2012.

Rehnberg, B. G., Smith, R. J. F. **The influence of alarm substance and shoal size on the behavior of zebra danios, *Brachydanio rerio* (Cyprinidae)**. Journal of Fish Biology. 33, 155-163, 1988.

Rocha, M. R., Carvalho, E. G., Urbinati, E. C. **Physiological responses associated with capture and crowding stress in matrinxã, *Brycon cephalus* (Gunther, 1869)**. Aquaculture Research. 35, 245-249, 2004.

Ros, A. F. H, Becker K, Oliveira, R. F. **Aggressive behaviour and energy metabolism in a cichlid fish, *Oreochromis mossambicus***. *Physiology & Behavior*. 89, 164-170, 2006.

Ruzzante D. E. **Mirror image stimulation, social hierarchies, and population differences in agonistic behaviour: a reappraisal**. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 49:1966–1968, 1992.

Sanches, F. H. C., Miyai, C. A., Pinho-Neto, C. F., Barreto, R. E. **Stress responses to chemical alarm cues in Nile tilapia**. *Physiology & Behavior*. 149, 8–13, 2015.

Schreck, C. B., Tort, L. **The concept of stress in fish**. In: *Biology of Stress in Fish*. Fish and Physiology. Part 1. 35, 37, 2016.

Serra, M. **Estratégia agressiva de matrinxãs *Brycon amazonicus*: conviver quando possível, matar quando preciso**. Botucatu-SP. Tese de doutorado. 2014.

Serra, M., Wolkers, C. P. B., Mello, M. M. M., Urbinati, E. C. **Agonistic trials with mirrors do not elicit the same aggressiveness of a real trial in the matrinxã fish, *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829)**. *Journal of Applied Ichthyology*. 33, 42–46, 2017.

Serra, M., Wolkers, C. P. B., Urbinati, E. C. **Novelty of the arena impairs the cortisol-related increase in the aggression of matrinxã (*Brycon amazonicus*)**. *Physiology & Behavior*. 141, 51–57, 2015.

Sih, A. **Predators and prey lifestyles: an evolutionary and ecological overview**. In: Kerfoot WC, Sih A (eds) *Predation direct and indirect impacts on aquatic communities*. University Press New England, Hanover, pp 203 224, 1987.

Sopinka, N. M., Donaldson, M. R., O'Connor, C. M., Suski, C. R., Cooke, S. J. **Stress indicators in fish**. *Fish and Physiology*. Part 11. 35, 58, 2016.

Souza-Bastos, L. R., Freire, C. A., Fernandes-de-Castilho, M. **Skin extract from *Rhamdia quelen* (Siluriformes: Heptapteridae) does not promote stress in conspecifics.** Neotropical Ichthyology. 12(1), 125-132, 2014.

Urbinati, E. C., Carneiro, P. C. F. **Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura.** In: Cyrino, J. E. P., Urbinati, E. C., Fracalossi, D. M., Castagnolli, N. (Ed.). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática. 71-193, 2004.

Urbinati, E. C., Zanuzzo, F. S., Serra, M., Wolkers, C. P. B., Sabioni, R. E. **Avanços da fisiologia do estresse e suas implicações em espécies nativas.** In: Tavares-Dias, M. Mariano, W. S. Aquicultura no Brasil: novas perspectivas. v. 1, p. 429, 2015.

Wendelaar Bonga, S. E. **The stress response in fish.** Physiological Reviews. 77(3), 591-625, 1997.

Wisenden, B. D. **Olfactory assessment of predation risk in the aquatic environment.** Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 355(B), 1205-1208, 2000.

Wisenden, B. D., Smith, R. J. F. **The effect of physical condition and shoalmate familiarity on proliferation of alarm substance cells in the epidermis of fathead minnows.** Journal of Fish Biology 50, 799-808, 1997.

Wolkers, C. P. B., Serra, M., Szawka, R. E., Urbinati, E. C. **The time course of aggressive behaviour in juvenile matrinxã *Brycon amazonicus* fed with dietary L-tryptophan supplementation.** Journal of Fish Biology. 84, 45–57, 2014.