



Universidade Federal do Amazonas  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Departamento de Pesquisa

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica



**DENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DOS CROMATÓFOROS NA PELE DO CARDINAL  
TETRA (*Paracheirodon axelrodi* SCHULTZ 1956) APÓS EXPOSIÇÃO À LUZ  
INTENSA**

Bolsista: Regiane Monteiro Linhares, CNPq

**Manaus**

**2015**



Universidade Federal do Amazonas  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação



Departamento de Pesquisa  
Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica



RELATÓRIO FINAL  
PIB-B/0079/2014-2015

**DENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DOS CROMATÓFOROS NA PELE DO CARDINAL  
TETRA (*Paracheirodon axelrodi* SCHULTZ 1956) APÓS EXPOSIÇÃO À LUZ  
INTENSA**

Bolsista: Regiane Monteiro Linhares, CNPq

Orientador: Doutor Wallice Luiz Paxiúba Duncan

**Manaus  
2015**

Todos os direitos desse relatório são reservados à Universidade Federal do Amazonas, ao Laboratório de Morfologia Funcional e aos seus autores. Parte deste relatório só poderá ser reproduzida para fins acadêmicos ou científicos.

## Resumo

Tem-se relatado que o cardinal (*Paracheirodon axelrodi*), o mais comercializado peixe ornamental amazônico, torna-se pálido após exposição crônica à luminosidade. Esse estresse induzido pelo manejo inadequado reduz o valor de mercado do peixe levando, em muitos casos, ao descarte dos animais. Para compreender os mecanismos morfofuncionais da perda da coloração no tegumento do cardinal, o presente trabalho descreve os tipos de cromatóforos (células pigmentares), sua distribuição, densidade e padrões de associações responsáveis pelas cores escuras, neon iridescente e vermelha do cardinal. Além disso, os efeitos de diferentes intensidades luminosas (0, 250, 500, 1200e 2700 lux) em diferentes intervalos de tempo (0, 12, 24 e 72 horas) foram testados e as densidades dos cromatóforos foram analisadas. A faixa escura é o resultado da presença de dois tipos de melanóforos contendo eumelanina (de cor marrom-escura) e feomelanina (cor marrom-amarelada). Na faixa neon iridescente, observa-se a presença apenas de melanóforos. Os melanóforos estão associados aos iridóforos que resultam na formação da faixa neon característica do peixe cardinal. Na faixa vermelha estão presentes apenas os eritróforos. Sob exposição crônica à luminosidade, as faixas escura e neon do cardinal tornam-se pálidas como o resultado da redução na densidade de melanóforos nas faixas, enquanto a faixa vermelha torna-se ainda mais intensa devido à proliferação de eritróforos. No escuro, proliferam melanóforos nas faixas escura e neon conforme o tempo de aclimação. A palidez na pele do cardinal pode estar associada à camuflagem durante as horas de elevada incidência luminosa nas águas pretas e ácidas do Médio Rio Negro. Como a palidez realça o tom levemente avermelhado da região lateral do corpo do animal, essa camuflagem pode ajudar a confundir os potenciais predadores dessa espécie em seu ambiente.

**Palavras-chave:** Estresse luminoso, Cardinal tetra, Tegumento, Cromatóforo

## Sumário

1. Introdução	1
2. Hipóteses	2
3. Objetivos	2
4. Material e Métodos	3
4.1 Obtenção dos animais	3
4.2 Delineamento experimental	3
4.3 Processamento e análises das amostras	4
4.4 Análise estatística	4
5. Resultados	4
5.1 Identificação, localização e distribuição dos principais tipos de cromatóforos	4
5.2. Efeito da luminosidade sobre a densidade dos cromatóforos	7
5.2.1 Tempo-resposta	7
5.2.2 Dose-resposta	8
6. Discussão	12
6.1 Implicações ecológicas	12
7. Conclusão	13
8. Referências bibliográficas	14

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Distribuição dos melanóforos na faixa escura da lateral do cardinal ( <i>Paracheiroduon axelrodi</i> ).	5
<b>Figura 2.</b> A) Tipos de melanóforos encontrados no tegumento do cardinal tetra ( <i>Paracheiroduon axelrodi</i> ).	5
<b>Figura 3.</b> Melanóforo da faixa escura da pele do cardinal com melanossomos em dispersão (ponta de seta).	6
<b>Figura 4.</b> Distribuição dos eritróforos na região neon da lateral do cardinal. Nessa faixa de cor podem encontrados cromatóforos isolados (ponta de seta preta).	7
<b>Figura 5.</b> Variação temporal na densidade de cromatóforos nas faixas de cores tegumentar do cardinal ( <i>Paracheiroduon axelrodi</i> ).	8
<b>Figura 6.</b> Efeito das diferentes doses de intensidade luminosa em diferentes intervalos de tempo sobre a densidade de cromatóforos presentes na faixa escura.	9
<b>Figura 7.</b> Efeito das diferentes intensidades luminosas sobre a densidade de cromatóforos localizados na faixa neon do tegumento do cardinal ( <i>Paracheiroduon axelrodi</i> ).	10
<b>Figura 8.</b> Variações na densidade de cromatóforos localizados na faixa vermelha do tegumento do cardinal ( <i>Paracheiroduon axelrodi</i> ) ao longo de 72 horas de exposição às diferentes intensidades luminosas.	11
<b>Figura 9.</b> Exemplares de cardinal <i>P. axelrodi</i> expostos à 2.700 lux durante 72 horas (A) e seu grupo controle inicial de 0 hora (B).	11

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos vertebrados ectotérmicos têm a capacidade de rápida alteração no padrão de coloração de pele, essas modificações podem funcionar como uma forma de comunicação inter e intraespecífica (Schweitzer et al., 2015). Essa capacidade é usada estrategicamente para sobrevivência, como evitar ataques de predadores, captura de presas de maneira mais eficiente, camuflagem, seleção sexual entre outras funções (Sugimoto, 2002; Svensson et al., 2005).

Mas por outro lado, alguns fatores tais como: luminosidade, substâncias químicas e hormônios podem induzir a alterações no padrão de coloração desses animais. Por exemplo, depois de capturados para o mercado ornamental, os peixes são expostos a diferentes níveis de intensidade luminosa que podem causar estresse e desconforto ao animal (Lin et al., 2009). Nesse caso, a ausência de estudos básicos tais como o comportamental e ecológico, bem como teste experimentais podem fornecer informações cruciais sobre manutenção de peixes ornamentais em ambientes de cativeiro.

Em peixes, tem-se observado uma cooperação entre dois tipos de cromatóforos, melanóforos e iridóforos para formar diferentes tons de coloração na pele (Hawkes, 1974). Esse padrão é semelhante ao observado em anfíbios e répteis (Oliveira & Franco-Belussi, 2012). Os cromatóforos são células que apresentam inúmeras projeções citoplasmáticas com formato dendrítico com vesículas contendo pigmentos que podem ser melanina, carotenoides, entre outros (Nilsson & Wallin, 1998). A natureza desses pigmentos é responsável pela determinação do tipo de célula pigmentar. Nos peixes, essas células são encontradas na derme, epiderme e escama, elas migram para esses locais após serem originadas no tubo neural durante o desenvolvimento embrionário (Hawkes, 1974; Takahashi et al., 2014).

Em vertebrados são encontrados seis tipos de células pigmentares: os melanóforos de cor preta ou marrom contém vesículas de melanina, chamados melanossomas; eritróforos, de cor avermelhada contendo pteridinas; xantóforos, com vesículas de carotenóides e pteridinas conferindo-lhes uma cor amarela; leucóforos apresentam grânulos de guanina, resultando em uma coloração branca prateada; iridóforos com cristais de purinas arranjados em forma de placas que refletem a luz, responsável pelo efeito óptico conhecido como Tyndall, refletindo cores azuis, verdes, prateados e iridescentes; cianóforos de coloração azul, o tipo de cromatóforo mais raro, contém cianossomas (Fujii, 2000).

O padrão de organização entre os melanóforos e iridóforos varia de acordo com o grupo taxonômico. De acordo com o conceito de unidade de cromatóforos dermais, a dispersão dos grânulos de melanina nos melanóforos pode modificar ou impedir a luz que chega às células refletivas (iridóforos). Melanóforos em estado de dispersão deixam a pele mais escura, enquanto a agregação dos grânulos de melanina descobre os iridóforos. Com isso, a luz refletida chega aos xantóforos ou eritróforos localizados na camada superior e cria tonalidade de cor na pele (Nery & Castrucci, 1997). O movimento dos pigmentos dentro dos cromatóforos é exercido pelo sistema nervoso por meio de controle endócrino (Sugimoto, 2002). Nos peixes os hormônios mais conhecidos são o MSH (hormônio estimulador de melanina) e MCH (hormônio concentrador de melanina) (Takahashi et al., 2014).

Esse processo pode induzir a mudanças da cor padrão do animal. Porém, há dois tipos de mudanças na coloração tegumentar, as mudanças fisiológicas, rápidas,

resultantes da movimentação dos grânulos de pigmentos contidos no interior do citoplasma e mudanças morfológicas, lentas, causadas por estímulos duradouros, resultando em alterações na quantidade de vesículas de pigmento ou da densidade de cromatóforos (Oliveira & Franco-Belussi, 2012).

É comum observar o *Paracheirodon axelrodi* Schultz 1956, popularmente conhecido como cardinal, tornar-se pálido sob intensa luminosidade. Por outro lado, em ambientes escuros esse peixe apresenta uma cor vibrante nas faixas escuras e neon. É essa coloração vibrante do cardinal que fascina o comércio de peixe ornamental, e a perda de coloração do tegumento resulta na perda de valor de mercado para o peixe. Não se conhece as bases morfológicas responsáveis pela perda de coloração desse peixe. Esse estudo pode contribuir com o manejo dessa espécie propondo protocolos de maneira a minimizar o estresse e os efeitos da luminosidade sobre a morfofisiologia da pele.

O cardinal destaca-se no comércio ornamental por ser uma espécie diminuta e apresentar uma cor vibrante e como diferencial, uma linha azul iridescente que se estende na lateral do corpo. Não se conhece quais os tipos, distribuição, densidade e padrão de organização das células pigmentares responsáveis por esse padrão de coloração conspícuo dessa espécie. A ocorrência natural do cardinal se restringe à Bacia do Rio Negro e ao Orinoco, em igarapés de florestas inundáveis, sombreada, de águas sem forte correnteza, preta e ácida (Chao et al., 2001). Essa é a espécie de peixe amazônico mais solicitada pelo mercado mundial e representa cerca de 80% dos 30-40 milhões de peixes ornamentais exportados do Rio Negro. No passado, o comércio de peixe ornamental gerou uma renda anual de aproximadamente 3 milhões de dólares contribuindo para a economia do Estado do Amazonas. Essa atividade gerou inúmeros empregos diretos e indiretos para as comunidades ribeirinhas, principalmente no Médio Rio Negro (Prang, 2008).

## **2. HIPÓTESES**

**H0:** A luminosidade não afeta a densidade e distribuição de cromatóforos no tegumento de cardinal;

**HA:** A luminosidade afeta a densidade e distribuição de cromatóforos no tegumento de cardinal;

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Geral**

Avaliação dos efeitos da luminosidade sobre a distribuição e abundância de cromatóforos na pele do cardinal tetra, *Paracheirodon axelrodi*.

### **3.2 Específicos**

Os principais aspectos analisados foram:

- Identificação dos principais tipos de cromatóforos na pele do cardinal tetra, *Paracheirodon axelrodi*;



- Quantificação e estudos da distribuição dos tipos de cromatóforos associados aos padrões de coloração na pele do cardinal tetra, *Paracheirodon axelrodi*;
- Avaliação dos efeitos da luminosidade sobre a distribuição e densidade dos cromatóforos na pele do cardinal tetra, *Paracheirodon axelrodi*.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Obtenção dos animais**

Foram utilizados 160 exemplares de cardinal tetra, *Paracheirodon axelrodi* Schultz, 1956 pesando  $0,075 \pm 0,016$  g (comprimento total  $1,53 \pm 0,13$  cm) coletados no município de Barcelos ( $S0^\circ 58' / W62^\circ 55'$ ), no Médio Rio Negro, Amazonas, com o auxílio de apetrechos de pesca convencionais. Os peixes foram mantidos na água do próprio rio para aclimatização, sendo posteriormente transportados ao Laboratório de Morfologia Funcional da Universidade Federal do Amazonas. Em laboratório, os animais foram mantidos em fotoperíodo 12:12, sendo alimentados diariamente e sua água renovada a cada 48 horas.

### **4.2 Delineamento Experimental**

A avaliação do efeito da luminosidade sobre a distribuição e densidade dos cromatóforos foi realizada por meio da exposição dos peixes em cinco níveis de iluminação: escuridão completa (0 lux); intensidade luminosa fraca ( $250 \pm 10$  lux); moderada ( $500 \pm 23$  lux); forte ( $1.200 \pm 91$  lux) e intensa ( $2.700 \pm 87$  lux), sendo que, em cada padrão de luminosidade ficava exposto durante os seguintes intervalos de tempo: (0, 12, 24 e 72 horas) ininterruptos.

Para cada nível de luminosidade testada, foram utilizados oito aquários pequenos de vidro com 300 ml de água, contendo quatro peixes em cada aquário (unidade experimental). Em cada intervalo de tempo supracitado foram retirados aleatoriamente dois grupos (duas unidades experimentais,  $N=8/\text{intervalo de tempo}$ ).

Foi usado iluminação artificial com lâmpada de LED temperatura de cor 6.500 K (branco-azulada) de fluxo luminoso de 100 lumens, a iluminação de cada unidade experimental foi continuamente monitorada com o auxílio de um aparelho digital portátil, luxímetro (HS1010). A luminosidade era mensurada nos quatro cantos e na região central. As variações entre as unidades experimentais eram ajustadas de maneira a reduzir a variabilidade entre as unidades experimentais.

Após o decorrer de cada intervalo de tempo, os grupos eram retirados e os peixes foram eutanasiados utilizando 0,5 mg/l de benzocaína (Sigma-Aldrich™), posteriormente fixados em karnovisky (glutaraldeído 0,5%, formoldeído 5%, ácido acético 10%). Após a fixação, os animais foram mantidos em álcool 70% para posterior processamento. As características físicas e químicas da água das unidades experimentais foram 4,5 mg/L de oxigênio, 10,5  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  de condutividade, 27 °C e pH 6,5. Todas as variáveis foram analisadas por meio de um analisador multiparâmetro (Marca Hanna).

### 4.3 Processamento e Análises das Amostras

Para a identificação dos principais tipos de cromatóforos e descrição da distribuição dessas células conforme o padrão de coloração do tegumento do cardinal tetra foram analisados 10 animais, pesando  $0,08 \pm 0,02$ g, e medindo  $1,66 \pm 0,16$  cm.

As amostras mantidas em álcool 70% foram dissecadas, a pele da lateral do corpo do animal foi removida e analisada por meio de um estereomicroscópio e microscopia de luz. Imagens digitalizadas foram obtidas de cada uma das faixas coloridas do tegumento do peixe por meio de um estereomicroscópio Leica com câmera de vídeo acoplada.

A quantificação dos tipos de células pigmentares de acordo com sua distribuição conforme padrão de coloração da pele do cardinal tetra, foi realizada com o auxílio do software de análise de imagens ImageJ ([www.imagej.nih.gov/ij](http://www.imagej.nih.gov/ij)). As imagens obtidas foram calibradas e as células quantificadas em um quadrante com área ( $\text{mm}^2$ ) conhecida, a densidade dos cromatóforos foi expressa em número de células/ $\text{mm}^2$ .

### 4.4 Análise Estatística

Os dados estão apresentados como média $\pm$ erro padrão da média. Os valores foram testados quanto à normalidade (teste Kolmogorov-Smirnov). Para os testes paramétricos, os valores originais foram  $\log_{10}$ -transformados. O efeito do tempo de exposição (0, 12, 24 e 72 horas) foi avaliado por meio da ANOVA de medidas repetidas seguido do teste *pos-hoc* Dunnett (usando o tempo 0 como controle). Para o efeito dose-resposta (0, 250, 500, 1200 e 2700 lux) utilizou-se uma ANOVA de um fator, seguido do teste *pos-hoc* Dunnett (o grupo 0 lux foi usado como controle). Em todos os casos, o nível de significância aceito foi de 5% ( $P < 0,05$ ).

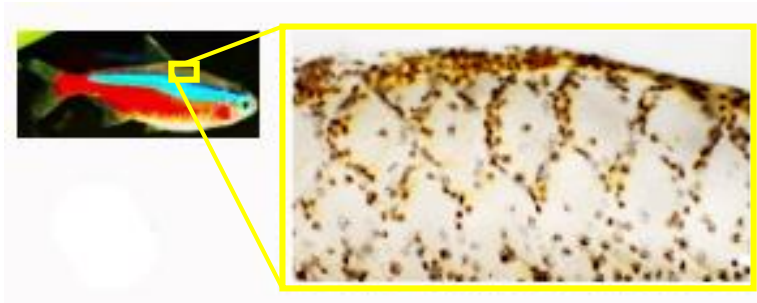
## 5. RESULTADOS

Todos os peixes usados nesse estudo foram manipulados de modo semelhante para evitar qualquer indução de estresse, uma vez que tal situação pode alterar o padrão de coloração do cardinal.

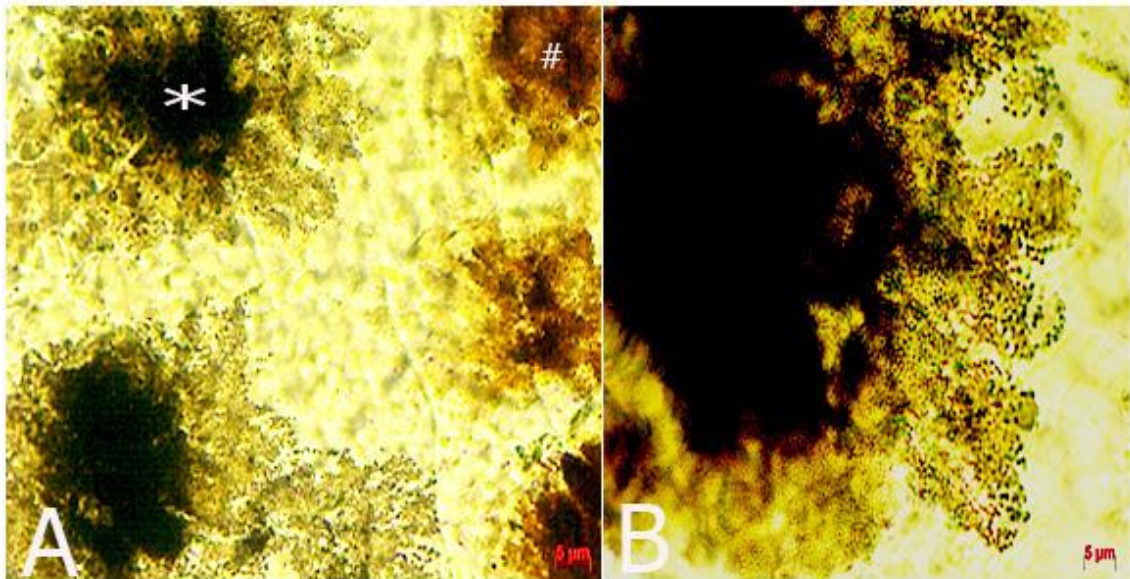
### 5.1 Identificação, Localização e Distribuição dos Principais tipos de Cromatóforos

Macroscopicamente é possível observar três faixas de pigmentação distintas no corpo do cardinal tetra. Lateralmente, a coloração do cardinal caracteriza-se por uma faixa azul medial que separa uma região melânica superior de outra avermelhada inferior (Figura 1). Na faixa escura (próxima ao dorso do peixe), os melanóforos são as células pigmentares mais abundantes ( $121,4 \pm 2,5$  melanóforos/ $\text{mm}^2$ ). Outros tipos de cromatóforos não foram identificados pelo método de observação utilizado (visualização por meio de estereomicroscópio). Ainda em relação aos melanóforos, foram observados dois tipos celulares. Melanóforos de pigmentação escura são os mais abundantes. Porém, os

cromatóforos de coloração marrom foram comumente encontrados nas bordas da região escura, próxima à faixa neon (Figura 2A). As vesículas com melanina podem ser visualizadas no citoplasma dos melanóforos (Figura 2B). Durante a dispersão, os melanossomos podem ser visualizados nas bordas laterais dos melanóforos (Figura 3).



**Figura 1.** Distribuição dos melanóforos na faixa escura da lateral do cardinal (*Paracheirodon axelrodi*).

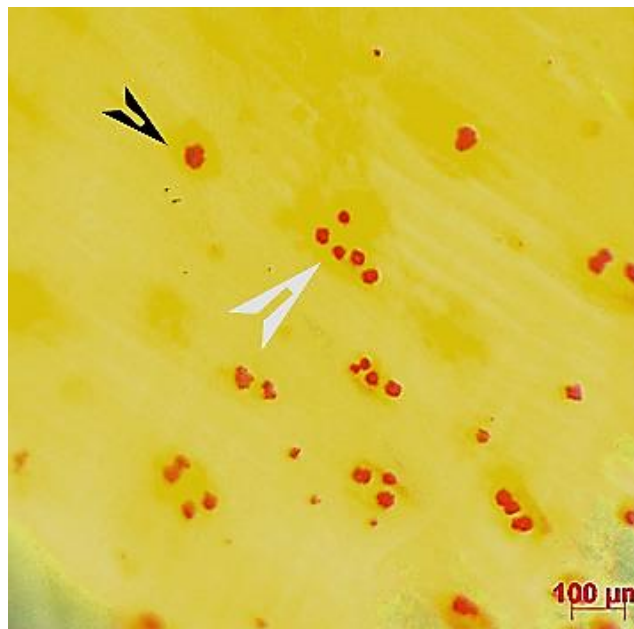


**Figura 2.** A) Tipos de melanóforos encontrados no tegumento do cardinal tetra (*Paracheirodon axelrodi*). Na pele do peixe podem ser observados melanóforos de coloração escura (\*) e de cor marrom (#). B) Detalhe das vesículas (melanosomos) observadas no interior de um melanóforo.



**Figura 3.** Melanóforo da faixa escura da pele do cardinal com melanossomos em dispersão (ponta de seta).

Na faixa vermelha, observa-se apenas eritróforos em baixa densidade ( $41,2 \times 1,5$  células/mm<sup>2</sup>). Essas células podem ser encontradas isoladas ou agregadas formando grupos isógenos de 2 a 5 eritróforos esparsamente distribuídos (Figura 3). Em todos os casos, não foram observados eritróforos com eritrossomos dispersos.



**Figura 4.** Distribuição dos eritróforos na região ventral da lateral do cardinal. Nessa faixa de cor podem ser encontrados cromatóforos isolados (ponta de seta preta) ou agrupados (ponta de seta branca). Observe que os eritrossomos no interior dos eritróforos estão agregados.

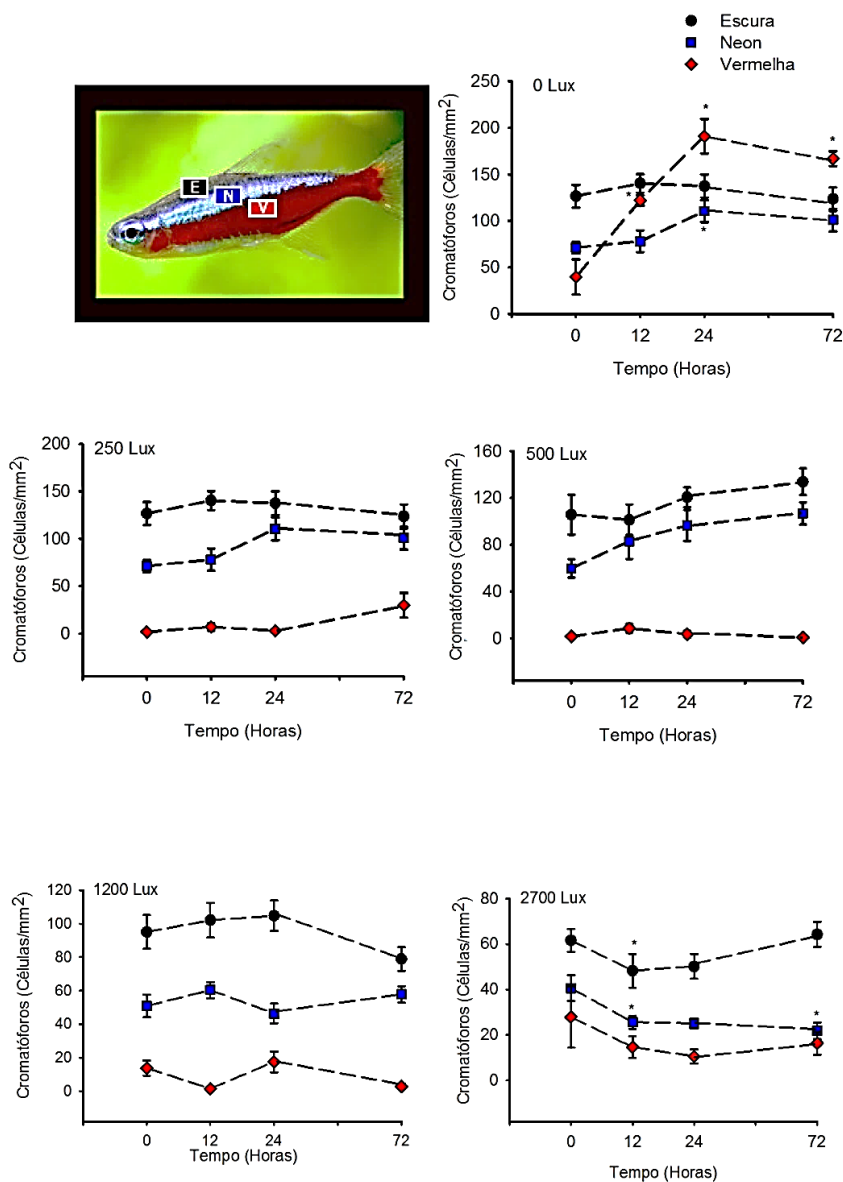
## 5.2. Efeito da Luminosidade sobre a Densidade dos Cromatóforos

### 5.2.1 Tempo-resposta

O efeito do tempo de exposição às diferentes intensidades luminosas (escuro – 0, 250, 500, 1200 e 2700 lux) ao longo de 72 horas de exposição estão apresentados na figura 5. A densidade de eritróforos na faixa vermelha do tegumento de cardinais mantidos no escuro (0 lux) aumenta ao longo do tempo ( $P < 0,05$ ). De igual modo, a densidade de melanóforos presentes na faixa neon desse peixe tende a aumentar a partir de 24 horas mantidos na ausência de luminosidade (0 lux). Não se observou alterações na densidade de melanóforos presentes na faixa escura da pele de cardinal.

Intensidades luminosas variando de 250 a 1200 lux não afetam a densidade dos cromatóforos (melanóforos e eritróforos) distribuídos nas faixas coloridas dos cardinais. Por outro lado, peixes expostos a luminosidade excessiva (2700 lux) apresentam uma redução na densidade de melanóforos na faixa escura, e melanóforos da região neon.



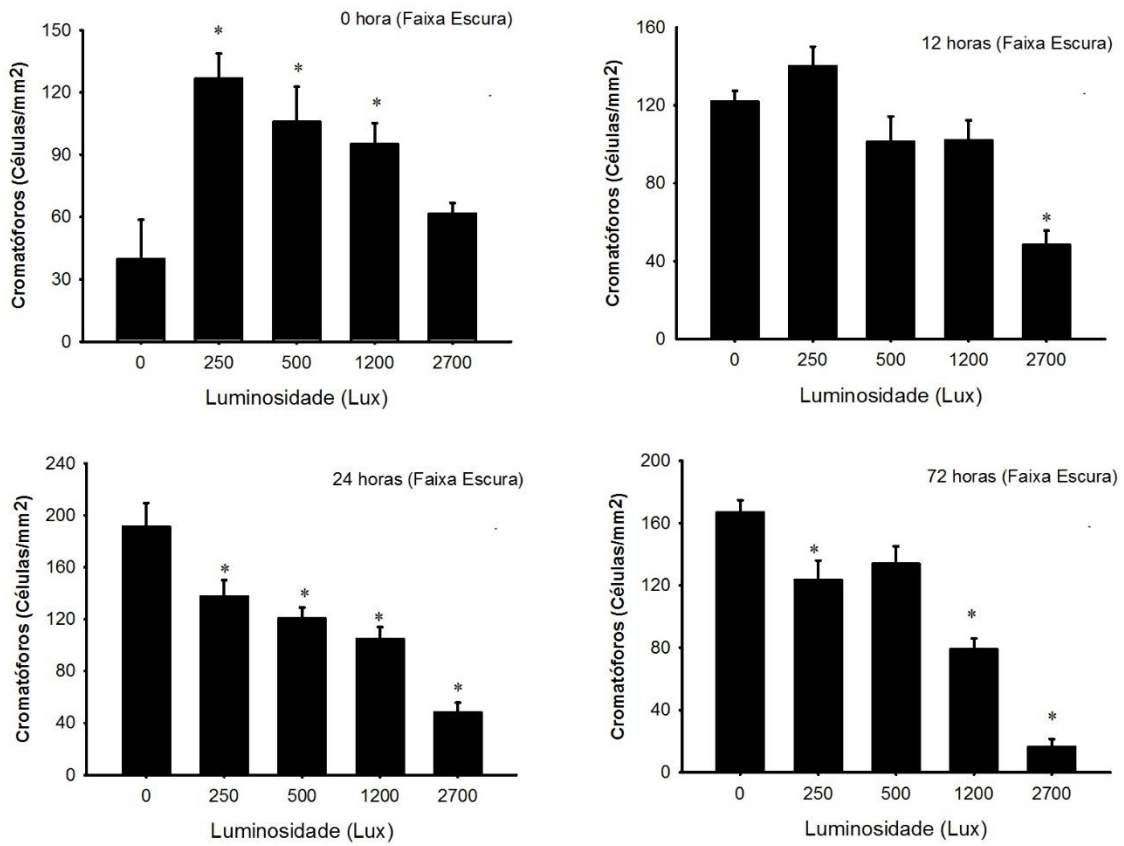


**Figura 5.** Variação temporal na densidade de cromatóforos nas faixas de cores tegumentar do cardinal (*Paracheirodon axelrodi*) expostos à diferentes intensidades luminosas. (\*) indica diferença significativa (ANOVA de medidas repetidas seguida do teste de Dunnett,  $P < 0,05$ ).

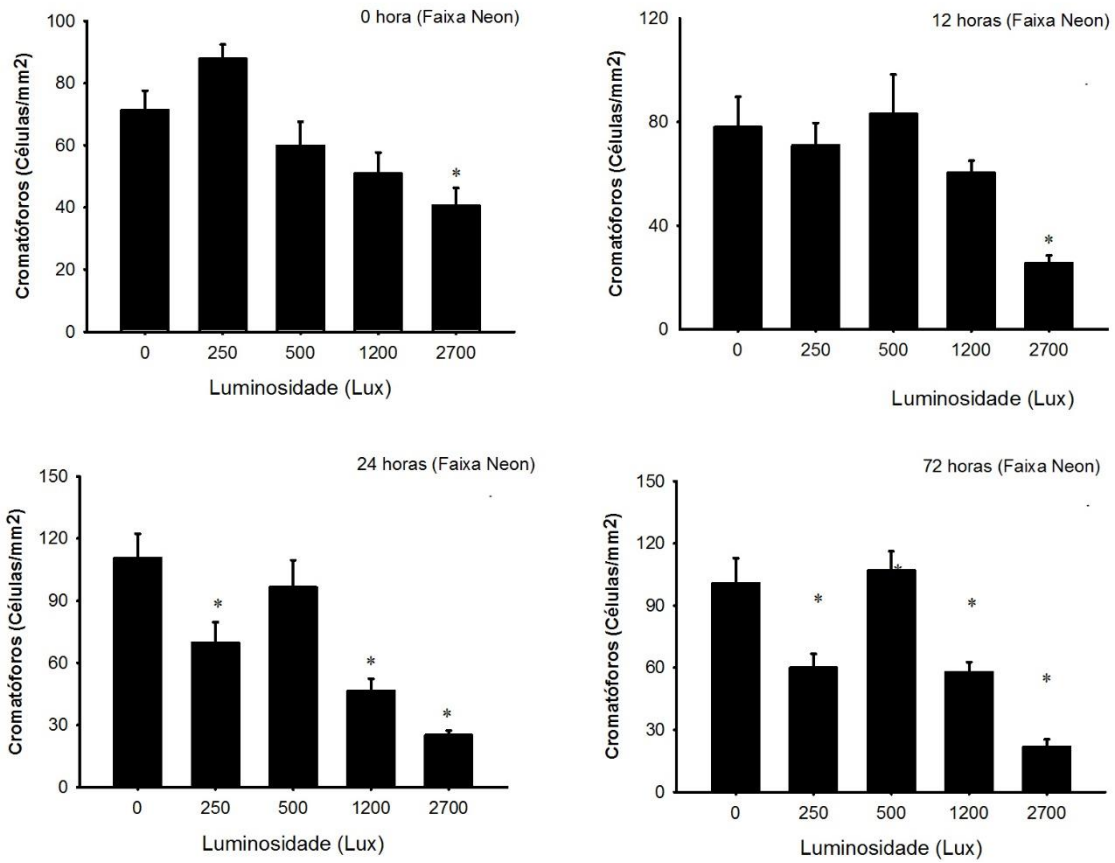
### 5.2.2 Dose-resposta

Considerando as diferentes intensidades luminosas, observa-se que a densidade de melanóforos presentes na faixa escura diminui gradativamente conforme o aumento da luminosidade independentemente do tempo de exposição (Figura 6). Na faixa neon, observa-se a mesma tendência para os melanóforos presentes na pele do cardinal (Figura 7). Por outro, luminosidade excessiva tende a aumentar a densidade de eritróforos na faixa vermelha durante as primeiras 24

horas, exceto nos longos períodos de exposição (72 horas), onde diminui a densidade desses cromatóforos no tegumento de *P. axelrodi* (Figura 8).

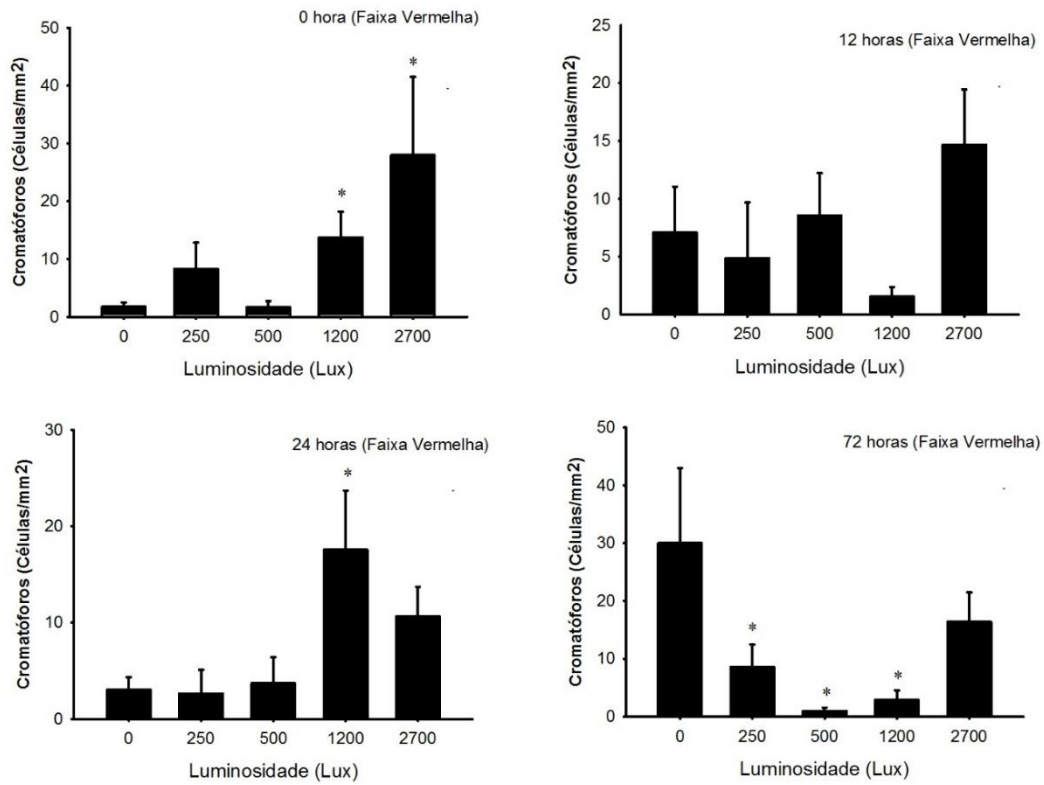


**Figura 6.** Efeito das diferentes doses de intensidade luminosa em diferentes intervalos de tempo sobre a densidade de cromatóforos presentes na faixa escura da pele do cardinal (*Paracheirodon axelrodi*). (\*) indica diferença significativa (ANOVA seguida do teste de Dunnett,  $P < 0,05$ ).

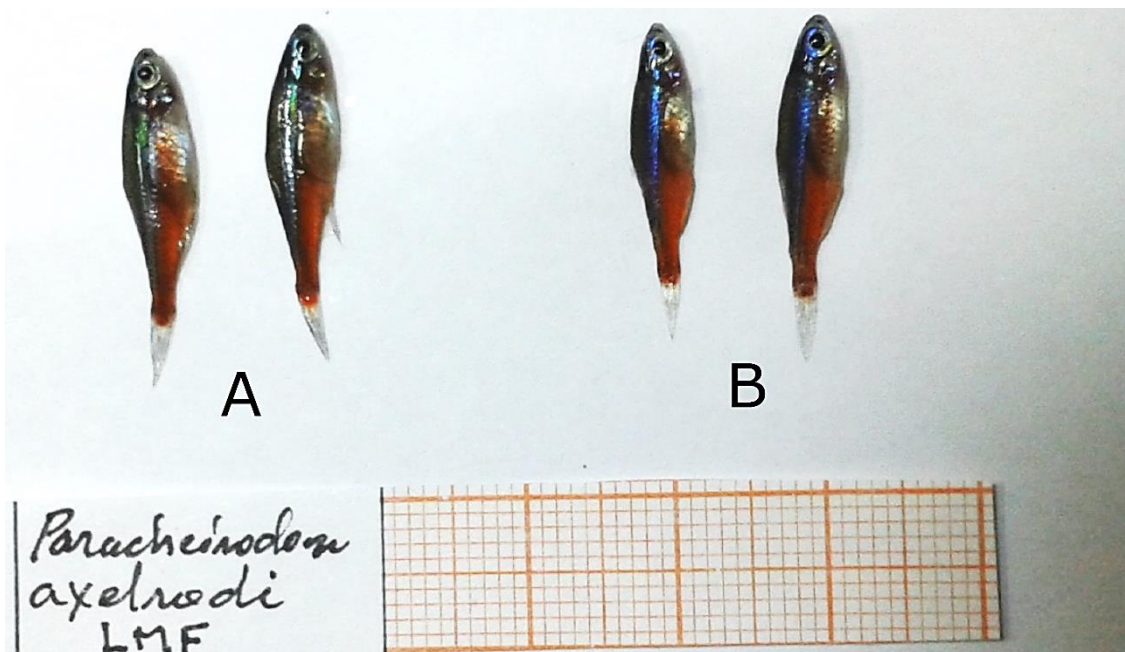


**Figura 7.** Efeito das diferentes intensidades luminosas sobre a densidade de cromatóforos localizados na faixa neon do tegumento do cardinal (*Paracheirodon axelrodi*) ao longo de 72 horas de exposição às diferentes intensidades luminosas. (\*) indica diferença significativa (ANOVA seguida do teste de Dunnett,  $P < 0,05$ ).





**Figura 8.** Variações na densidade de cromatóforos localizados na faixa vermelha do tegumento do cardinal (*Paracheirodon axelrodi*) ao longo de 72 horas de exposição às diferentes intensidades luminosas. (\*) indica diferença significativa (ANOVA seguida do teste de Dunnett,  $P < 0,05$ ).



**Figura 9.** Exemplos de cardinal *P. axelrodi* expostos à 2.700 lux durante 72 horas (A) e seu grupo controle inicial de 0 hora (B). Observar a diferença na pigmentação do tegumento nas faixas escura e neon. Peixes expostos por longo tempo à luminosidade excessiva apresentam uma palidez nessas faixas quando comparados ao controle inicial.

## 6. DISCUSSÃO

Os critérios que definem a unidade cromatóforos nos anfíbios e répteis são igualmente aplicáveis aos peixes (Hawkes, 1974; Oliveira & Franco-Belussi, 2012). Os xantóforos e eritróforos são os mais superficiais, enquanto os melanóforos estão profundamente (derme) inseridos no tegumento. Esses últimos estão estruturalmente associados aos iridóforos. O arranjo dessas células pigmentares nas camadas da pele está intimamente relacionado aos tipos de pigmentos e comprimento de onda que será refletido ou absorvido pela pele (Sugimoto, 2002; Svensson et al., 2005). Na pele do cardinal (*Paracheirodon axelrodi*) foram observados uma associação de dois tipos de cromatóforos, iridóforos associados aos melanóforos. Os eritróforos estão presentes na faixa vermelha, enquanto os melanóforos são abundantes na faixa escura e neon. O arranjo e disposição dos melanóforos e iridóforos é o responsável pela formação da faixa neon medial, característica peculiar responsável pelo nome atribuído ao peixe (neon tetra). Ambos os tipos celulares têm aspectos dendríticos que permitem a distribuição das vesículas pigmentares ao longo dos prolongamentos citoplasmáticos.

Nos preparados histológicos da pele do cardinal, os melanóforos apresentavam um ligeiro padrão de dispersão dos grânulos de melanina. Takahashi et al. (2014) descrevem dois estados de distribuição dos grânulos de melanina: o agregado devido ao movimento centrípeto, enquanto o disperso é o resultado do movimento centrífugo. A cor da pele do peixe pode mudar em curta escala temporal. Isso ocorre por meio das mudanças refletivas dos iridóforos, bem como pelos padrões de agregação e dispersão dos cromatossomos nos cromatóforos (Nery & Castrucci, 1997). Esse mecanismo é conhecido como alterações fisiológicas na coloração da pele. Sabe-se que fatores internos e externos podem afetar o estado de distribuição desses grânulos no interior da célula (Burton & Everard, 1989; Han et al., 2005; Carvalho et al., 2013). Quando os peixes são expostos a algumas situações de estresse, isso pode ocasionar mudanças na coloração tegumentar (Svensson et al., 2005). O padrão de agregação e dispersão dos melanossomos é controlado por meio de vários fatores endógenos, principalmente pelos hormônios: hormônio estimulador de melanóforos – MSH e hormônio concentrador de melanóforos – MCH (Burton e Everard, 1989). O  $\alpha$ -MSH é um hormônio que estimula a dispersão dos pigmentos nos melanóforos, enquanto o MCH e a melatonina promovem a agregação (Oliveira & Franco-Belussi, 2012; Takahashi et al., 2014). Peixes com mais cromatóforos e com grânulos em dispersão tornam-se mais coloridos.

Por outro lado, mudanças relativamente lentas e de longa duração na coloração da pele do peixe são causadas pelas alterações na densidade de células pigmentares (Fujii, 2000). Este aspecto é conhecido como mudanças morfológicas na coloração do tegumento. No entanto, os efeitos da luz sobre a coloração da pele do peixe são espécie-específicos, em certas espécies podem induzir a palidez ou tornar a pele mais escura (Svensson et al., 2005). No caso do cardinal, observou-se que a mudança de coloração ocorreu devido às alterações na densidade de cromatóforos presentes no tegumento.

O cardinal é considerado o peixe ornamental mais comercializado no Estado do Amazonas. Em muitos casos, os aquários são construídos de forma artesanal, sem critérios e não se leva em conta o bem-estar do animal. Nesse contexto, a

luminosidade do ambiente é um importante fator a se considerar para a manutenção dos peixes em aquários para exposição. As diferentes intensidades luminosas podem produzir uma variedade de respostas em relação ao crescimento, agressividade, sobrevivência, alimentação, reprodução e estresse em peixes (Sugimoto, 2002; Svensson et al., 2005). Criadores de peixes ornamentais relatam que cardinais (*P. axelrodi*) mantidos em ambientes escuros tendem a apresentar coloração mais vibrante, enquanto os peixes submetidos à luminosidade excessiva apresentavam palidez após certo período de exposição. De fato, em nosso experimento, quando os cardinais foram mantidos no escuro, a densidade de eritróforos e melanóforos nas faixas vermelhas e neon aumentaram ao longo do tempo, respectivamente. Em contraste, sob elevada incidência luminosa a pele do cardinal torna-se pálida.

Na medida que se aumenta a luminosidade, observa-se uma gradual redução na densidade de melanóforos nas faixas escura e neon. Sob luminosidade intensa, a redução no número de melanóforos permite que a luz seja refletida pelas placas dos iridóforos localizados no *stratum laxum* do tegumento do cardinal. Com isso, a baixa densidade de melanóforos não permite que essa mesma luz possa formar o padrão de colorido típico do cardinal. Esse efeito ocorre apenas nas faixas escuras e neon do animal. Em contraste, a faixa vermelha torna-se ainda mais avermelhada. Nós observamos que a densidade de eritróforos aumenta proporcionalmente conforme a intensidade luminosa.

### **6.1 Implicações Ecológicas**

Do ponto de vista ecológico, a palidez das faixas escura e neon e o tom avermelhado da faixa inferior ajuda a camuflar o cardinal sob intensa luminosidade. Nós sugerimos que o tom vermelho-pálido do tegumento do peixe torna-o camuflado na paisagem avermelhada do fundo dos rios e igarapés de água preta devido à presença de pigmentos orgânicos dissolvidos nesse tipo de água. Se considerarmos que o cardinal é endêmico das águas pretas do Médio Rio Negro, a palidez e o tom avermelhado nas horas de maior luminosidade torna-o menos vulnerável aos predadores visuais. Portanto, peixes de coloração vibrante (nas faixas escuras e neon) podem ser facilmente identificados pelos predadores visuais durante o dia. Contudo, este estudo é preliminar e experimentos controlados no ambiente natural podem ajudar a compreender o significado ecológico da mudança de coloração na pele do cardinal induzida pela luminosidade.

## **7. CONCLUSÃO**

Uma avaliação histológica da pele do cardinal revela a presença de uma unidade de cromatóforos semelhantes aos encontrados nos anfíbios e reptéis. A faixa escura é constituída exclusivamente por melanóforos. A faixa neon possui eritróforos e melanóforos associados aos iridóforos, enquanto a faixa vermelha possui apenas eritróforos. Cardinais mantidos na escuridão apresentam elevada densidade de melanóforos e iridóforos. O aumento da intensidade luminosa tende a reduzir gradativamente a densidade de melanóforos nas faixas escuras e neon. Por outro lado, a luminosidade promove a proliferação de eritróforos apenas na faixa vermelha. Por fim, cardinais mantidos em ambientes de baixa luminosidade

apresentam uma coloração neon brilhante, enquanto aqueles mantidos sob luz intensa apresentam-se pálidos.

## 8. Referências Bibliográficas

- Burton, D. & Everard, B. 1989. An effect of *in vivo* chromatic adaptation of melanophore *invitro* sensitivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 93(2):313-316.
- Carvalho, T.B., Mendonça, F.Z., Costa-Ferreira, R.S. & Gonçalves-de-Freitas, E. 2013. The effect of increased light intensity on the aggressive behavior of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae). *Zoologia*, 30(2): 125-129.
- Chao, N.L., Prang, G., Petry, P. 2001. Project Piaba: Maintenance and Sustainable Development of Ornamental Fishes in the Rio Negro Basin, Amazonas, Brazil. In: Chao, L.N.; Petry, P.; Prang, G.; Sonneschein, L.; Tlusty, M. (Eds). Conservation and Management of Ornamental Fish Resources of the Rio Negro Basin. Amazonia, Brazil: Project Piaba. Editora Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. p. 3-14.
- Fujii, R. 2000. The regulation of Motile Activity in Fish Chromatophores. *Pigment Cell Res*, 13: 300-319.
- Han, D., Xie, S., Lei, W., Zhu, X. & Yang, Y. 2005. Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther). *Aquaculture*, 248(1-4): 299-306.
- Hawkes, J.W. 1974. The structure of fish skin II. The chromatophore unit. *Cell Tissue Research*, 149: 159-172.
- Lin, Q., Lin, J., Huang, L. 2009. Effects of substrate color, light intensity and temperature on survival and skin color change of juvenile seahorses, *Hippocampus erectus* Perry, 1810. *Aquaculture*, 298: 157-161.
- Nery, M. E. L. & Castrucci, L. M. A. 1997. Pigment Cell Signaling for Physiological Color Change. *Comp. Biochem. Physiol.* 118(4): 1135-1144.
- Nilsson, H. & Wallin, M. 1998. Regulation of Bidirectional Pigment Granule Movement in Melanophores. *Advances in Structural Biology*, 5: 1-7.
- Oliveira, C. & Franco-Belussi, L. 2012. Melanine Pigmentation in Ectothermic Vertebrates: Occurrence and Function. In: *Melanin: Biosynthesis, Functions and Health Effects* (Ed. Ma, X-P, Sun, X-X). Nova Science Publishers Inc, New York, pp. 213-226
- Prang, G. 2008. An industry analysis of the freshwater ornamental fishery with particular reference to the supply of Brazilian freshwater ornamentals to the UK market. *Uakari*, 3: 7-51.

- Schweitzer, C., Motreuil, S., Dechaume-Moncharmont, F. 2015. Coloration reflects behavioural types in the convict cichlid, *Amatitlania siquia*. *Animal Behaviour*, 105: 201-209.
- Sugimoto, M. 2002. Morphological Color Changes in Fish: Regulation of Pigment Cell Density and Morphology. *Microscopy Research and Technique*, 58: 496-503.
- Svensson, P., Forsgren, E., Amundsen, T. & Sköld, HN. 2005. Chromatic interaction between eggs pigmentation and skin chromatophores in the nuptial coloration of female two-spotted gobies. *J. Exp. Biol.*, 208(23): 4391-4397.
- Takahashi, A., Mizusawa, K. & Amano, M. 2014. Multifunctional Roles of Melanocyte-Stimulating Hormone and Melanin-Concentrating Hormone in Fish: Evolution from Classical Body Color Change. *Aqua-BioScience Monographs*, 7(1): 1-46.