

Desenvolvimento das modalidades mecanossensoriais de larvas de *Brycon orbignyianus*

Development of mechanosensory modalities of *Brycon orbignyianus* larvae

DOI: 10.34188/bjaerv4n3-061

Recebimento dos originais: 04/03/2021

Aceitação para publicação: 30/06/2021

Cláudia Maria Reis Raposo Maciel

Doutora em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Zootecnia - UFV/DZO

Instituição: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia / Departamento de Ciências Exatas e Naturais - UESB/DCEN

Endereço: Rodovia BR 415, km 3, s/n., Itapetinga – BA, Brasil

E-mail: cmaciel@uesb.edu.br

Alaor Maciel Júnior

Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Zootecnia - UFV/DZO

Instituição: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia / Departamento de Tecnologia Rural e Animal – UESB/DTRA

Endereço: Rodovia BR 415, km 3, s/n., Itapetinga – BA, Brasil

E-mail: ajunior@uesb.edu.br

Eduardo Arruda Teixeira Lanna

Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista – UNESP

Instituição: Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Zootecnia – UFV/DZO

Endereço: Avenida P.H. Rolfs, s/n. – Campus Universitário – Viçosa-MG, Brasil

E-mail: eduardoalanna@yahoo.com.br

RESUMO

Com o objetivo de descrever o desenvolvimento das estruturas mecanorreceptoras, otólitos/ouvido interno e neuromastos do sistema de linha lateral, das larvas de piracanjuba *Brycon orbignyianus* (Valenciennes, 1849) (Characiformes, Characidae, Bryconinae), até 172 horas após a eclosão, foram coletados exemplares a cada meia hora e fixados, na solução de fluido de Bouin, pelo período de 6 a 8 horas, em temperatura ambiente. Os cortes de 4 - 5 μm de espessura foram corados por pelos métodos HE, Alcian Blue e PAS e analisados por microscopia óptica. Foi possível concluir que as larvas de piracanjuba, até 28 horas após a eclosão, com $3,35 \pm 0,13$ mm de CP (comprimento padrão), apresentaram estruturas que as tornaram predadoras ativas e capazes de superar uma das etapas críticas da larvicultura comercial – o início da alimentação exógena – sendo verificados: presença de cristas ampulares na cavidade ótica, sistema de linha lateral cefálico e corporal em formação. Em 72 horas após a eclosão, as larvas de piracanjuba, com $9,13 \pm 0,18$ mm de CP, apresentaram o sistema de linha lateral cefálico formado. Nas larvas com 172 horas após a eclosão, medindo $11,94 \pm 0,80$ mm de CP, no final da metamorfose, o sistema de linha lateral e a audição em formação, em conjunto, favorecem a sobrevivência na larvicultura comercial da espécie.

Palavras-chave: linha lateral, neuromastos, otólitos, peixe, piracanjuba

ABSTRACT

In order to describe the development of mechanoreceptor structures: otoliths/ inner ear and neuromasts of the lateral line system, specimens of piracanjuba *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849) (Characiformes, Characidae, Bryconinae) larvae, up to 172 hours after hatching, were collected every half hour and fixed in Bouin's fluid solution for a period of 6 to 8 hours at room temperature. The 4 - 5 μm thickness sections were stained by HE, Alcian Blue and PAS methods, and analyzed by optical microscopy. It was possible to conclude that piracanjuba larvae, up to 28 hours after hatching, with 3.35 ± 0.13 mm of SL (standard length), presented structures that made them active predators and able to overcome one of the critical stages of commercial larviculture – the beginning of exogenous feeding – being verified: presence of ampular ridges in the optic cavity, cephalic lateral line system and body in formation. At 72 hours after hatching, piracanjuba larvae, with 9.13 ± 0.18 mm of SL, presented the cephalic lateral line system formed. In larvae with 172 hours after hatching, measuring 11.94 ± 0.80 mm of SL, at the end of metamorphosis, the lateral line system and emerging hearing, together, favor the survival in commercial larviculture of the species.

Keywords: fish, lateral line, neuromasts, otoliths, piracanjuba

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas sensoriais permitem que os peixes percebam e interpretem seus ambientes complexos e medeiam comportamentos essenciais que são críticos para sua sobrevivência e aptidão. Os órgãos sensoriais dos peixes são categorizados como quimiorreceptores (sistemas olfatório e gustatório), fotorreceptores (sistema visual) e mecanorreceptores (sistemas auditivo e de linha lateral), que são encontrados em todas as espécies (WEBB et al., 2020).

Os receptores sensoriais mecânicos fornecem a base para a percepção do deslocamento, ou seja, tato, som, pressão e movimento (POUGH et al., 2008). O sistema de linha lateral e o ouvido interno estão relacionados pela estrutura, função e ontogenia e, em conjunto, formam o sistema oitavo-lateral ou sistema acústico lateral (ASSIS, 2000; FATH EL-BAB, 2006; HILDEBRAND & GOSLOW, 2006).

O sistema de linha lateral, presente nos peixes e nas larvas aquáticas de anfíbios, parece funcionar como meio de determinação das mudanças de pressão e correntes na água. Os receptores consistem em papilas sensoriais, ou seja, neuromastos, dispostos em fileiras sobre o corpo, que se encontram na superfície da pele ou em canais cobertos que se abrem para o exterior por meio de pequenos poros (ORR, 1986). Na maioria dos peixes, há uma fileira de neuromastos de cada lado do corpo, que se ramifica, e na região cefálica, onde é estruturado e constituído, principalmente, pelos canais supra orbital, infra orbital, pré-opercular, mandibular e temporal. Dos neuromastos desse sistema, alguns permanecem superficiais, particularmente, entre as narinas e nos canais infra e supra orbitais.

O ouvido interno de Teleostei consiste funcionalmente de duas regiões discretas, a região vestibular, contendo o utrículo e três canais semicirculares, e a região auditiva, com o sáculo e a lagena (BLAXTER, 1986). O utrículo, sáculo e lagena, contêm três pares de otólitos denominados, respectivamente, lapillus, sagitta e asteriscus, (FATH EL-BAB, 2006), que são concreções acelulares de carbonato de cálcio e outros sais inorgânicos, que se desenvolvem sobre uma matriz proteica no ouvido interno dos vertebrados (ASSIS, 2000). Nos peixes ósseos, os otólitos atingem normalmente dimensões apreciáveis, preenchendo quase completamente a cavidade interna dos três principais compartimentos do labirinto membranoso.

Até o momento, pouco se conhece a respeito do desenvolvimento do ouvido interno em peixes, especialmente sua citologia e histologia (BLAXTER, 1986; MATSUOKA, 2001), embora os otólitos estejam presentes desde a eclosão e são usados para identificar a idade nas larvas (BLAXTER, 1986; ASSIS, 2000; OLIVEIRA et al., 2014).

Desta forma, o propósito deste trabalho foi descrever o desenvolvimento do sistema mecanossensorial de larvas de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), visando fornecer referências para melhorar as técnicas de manejo e nutrição durante a fase de larvicultura da espécie.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As larvas de piracanjuba, *Brycon orbignyanus* Valenciennes (1849) (Characiformes, Characidae, Bryconinae) foram coletadas nas dependências da Estação de Pesquisa e Desenvolvimento Ambiental de Volta Grande – EPDA – VG, situada à jusante da Usina Hidroelétrica de Volta Grande – Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), no município de Conceição das Alagoas, MG.

Os exemplares foram obtidos por desova induzida, a 27°C, seguindo a rotina do laboratório, o que resultou em uma desova com, aproximadamente, 72 mil ovos (dados fornecidos pela equipe técnica da referida Estação).

A eclosão dos ovos ocorreu 18 horas após a desova, sendo o momento da eclosão considerado quando 50% dos ovos se encontravam eclodidos. A idade das larvas foi determinada em horas e minutos após a eclosão, de acordo com as amostragens realizadas.

A cada meia hora, 15 a 20 exemplares foram coletados, a partir da eclosão (zero hora) até 48 horas. Após este período, as larvas foram coletadas a cada hora até 172 horas pós eclosão.

Os exemplares coletados foram imediatamente fixados, à temperatura ambiente, em solução de Bouin, durante 6 a 8 horas (MACIEL, 1997). Em seguida, foram transferidos para solução de álcool a 70%, em que permaneceram até o momento da confecção das lâminas histológicas.

O comprimento total (CT = distância entre a extremidade rostral da cabeça e a extremidade caudal da nadadeira embrionária das larvas) e o comprimento-padrão (CP = distância entre a extremidade rostral da cabeça e o pedúnculo da nadadeira caudal dos alevinos) (MACIEL JUNIOR, 1996; NAKATANI et al., 2001) foram medidos com paquímetro digital, com resolução de 0,01mm, e o auxílio de um microscópio estereoscópico.

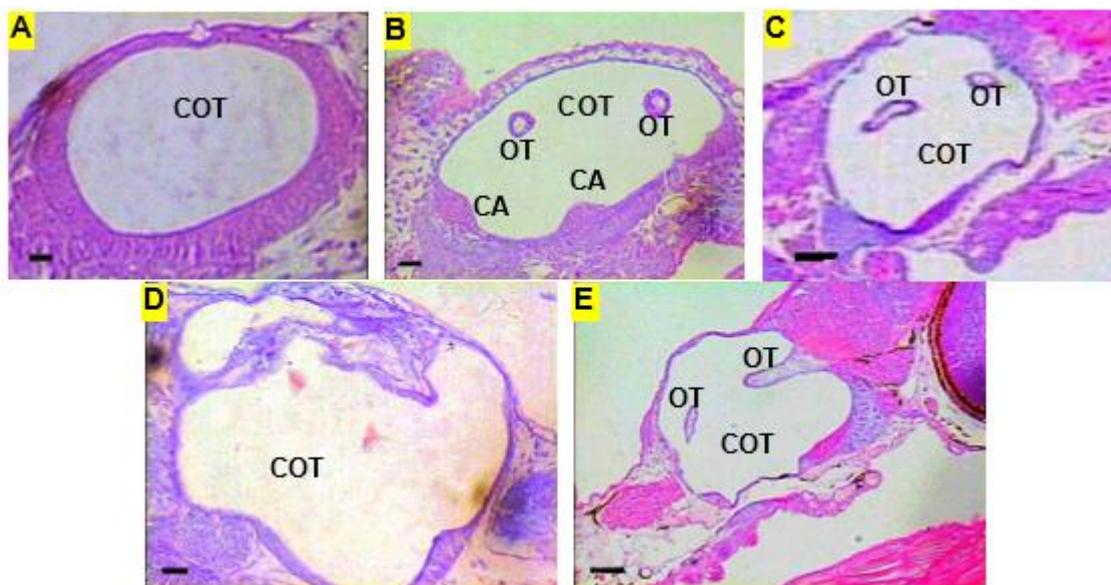
Para estudos panorâmicos de rotina, utilizou-se a coloração Hematoxilina - Eosina (HE), adaptado para larvas (MACIEL, 1997), e para a detecção de células mucosas secretoras de polissacarídeos ácidos carboxilados utilizou-se a coloração por Alcian Blue - pH 2,5 (AB) e PAS (BANCROFT & STEVENS, 1996).

As análises histológicas foram realizadas com auxílio de microscópio de luz trinocular, acoplado a um microcomputador contendo um software de análise de imagens.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As larvas recém-eclodidas de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) mediam $3,62 \pm 0,17$ mm de CP e possuíam uma cavidade ótica estruturada, de forma oval, ampla e oca (Figura 1A).

Figura 1. Região cefálica das larvas de piracanjuba *Brycon orbignyanus* – Mecanorrecepção: Audição. Secções sagitais, HE. A) zero hora; B) 17 horas após eclosão (HE); C e D) 24 horas após eclosão (HE e PAS) e E) 32 horas após eclosão (HE), sendo: CA- Crista ampular; COT- Cavidade ótica; OT- Otólitos (Barras: A = 10 μ m; B e D = 20 μ m; C e E = 50 μ m).



As primeiras etapas da formação do ouvido interno são notadamente uniformes em todos os vertebrados (ASSIS, 2000). O labirinto membranoso forma-se a partir do placódio ótico, ou auditivo, um espessamento da ectoderme em ambos os lados da região cefálica, que se desenvolve

por influência indutora da vesícula rombencefálica no esboço cefálico posterior do embrião e fica assim assegurada a sua posição na região posterior da cabeça (HILDEBRAND & GOSLOW, 2006).

Inicialmente o placódio forma uma invaginação na ectoderme, a fossa ótica, que se insere progressivamente no interior da região cefálica do embrião, que se separa completamente da superfície e perde gradualmente o contato com o epiblasto para se transformar numa vesícula oca, a vesícula ótica (HILDEBRAND & GOSLOW, 2006). Esta vesícula se forma na proximidade do esboço cefálico, rodeada por tecido mesodérmico ou mesênquima, o qual dará origem ao tecido cartilaginoso ou ósseo que constituirá a cápsula ou cavidade ótica (WEICHERT & PRESCH, 1981).

Assis (2000) relatou que, nesta fase, a vesícula encontra-se limitada por epitélio pseudoestratificado que segrega a endolinfa, um fluido que preenche o seu interior, e que só mais tarde esse epitélio passará, sucessivamente, a cúbico e a pavimentoso.

Segundo Blaxter (1986), provavelmente, todas as larvas recém-eclodidas têm um labirinto suficientemente desenvolvido para a percepção de equilíbrio, entretanto ainda não se pode afirmar se elas ouvem utilizando a mácula sacular ou utricular.

Nas larvas recém eclodidas de linguado (*Paralichthys olivaceus*) (KAWAMURA & ISHIDA 1985), perca americana (*Micropterus salmoides*) (KAWAMURA & WASHIYAMA, 1989), marble goby (*Oxyeleotris marmoratus*) (SENOO et al., 1994) e de sardinha japonesa (*Sardinops melanostictus*) (MATSUOKA, 2001), o ouvido interno é uma vesícula auditiva oval com dois otólitos.

Nas larvas de piracanjuba, às 17 horas após a eclosão, com $5,54 \pm 0,16$ mm de CP, dois otólitos esféricos foram evidenciados, alinhados lado a lado na cavidade ótica (Figura 1B), e a partir deste momento, na porção ventral desta cavidade, cristas ampulares com células sensoriais estavam visíveis (Figura 1B). Às 24 horas após a eclosão, nas larvas com $6,14 \pm 0,12$ mm de CP, estes otólitos apresentaram-se em forma mais alongada (Figura 1C), e às 32 horas após a eclosão (CP = $6,82 \pm 0,15$ mm), os mesmos estavam ainda mais alongados e um deles já se comunicava com a borda anterior da cavidade ótica (Figura 1E).

Conforme Oliveira et al. (2014), otólitos são estruturas cristalinas, pares, localizadas no ouvido interno de todos os peixes ósseos, utilizados para recepção do som, manutenção do equilíbrio e processamento de sinais direcionais. Hibiya (1982), descreveu os otólitos como estruturas calcificadas de origem ectodérmica, que podem ser constituídos de carbonato de cálcio, proteínas tipo queratina e mucopolissacarídeos. Nas larvas de piracanjuba neste estudo, provavelmente, os otólitos sejam constituídos por mucopolissacarídeos neutros, o que foi verificado às 24 horas após eclosão (CP = $6,14 \pm 0,12$ mm), com a reação positiva ao PAS (Figura 1D).

Segundo Assis (2000), numa fase precoce de diferenciação, as células da parede da vesícula ótica inicial proliferam de forma desigual em determinadas regiões, passando ela a ser constituída por dois compartimentos, o utrículo e o sáculo, separados por um estrangulamento e comunicando entre si por um orifício ou por um canal relativamente estreito. Cada um dos novos compartimentos se tornará mais complexo à medida que se formam os seus divertículos, os ductos semicirculares, a partir da região superior do utrículo e o ducto endolinfático e a lagena, a partir das regiões interior e posterior do sáculo, respectivamente. Neste trabalho, os dois compartimentos podiam ser visualizados nas larvas de piracanjuba com 24 horas após a eclosão (Figura 1D).

Nas larvas de piracanjuba, de zero a 172 horas após a eclosão ($CP = 3,62 \pm 0,17$ a $11,94 \pm 0,80$ mm), o desenvolvimento dos otólitos apresentou três fases: esférica, alongada e de formação dos primórdios secundários (Figuras 1B, 1C e 1F), não completando as fases morfológicamente distintas definidas por Xie et al. (2005), até a última coleta realizada neste estudo. Estes autores verificaram que em jack mackerel (*Trachurus japonicus*), o tamanho máximo e a idade das larvas com otólitos esféricos foram 5,2 mm de CP e 16 dias, enquanto os otólitos alongados surgiram entre 4,3 a 11,9 mm de CP e 11-25 dias. Eles encontraram otólitos formando primórdios secundários em larvas com 11,8 a 25,7 mm de CP e 24-50 dias, e com a região de crescimento primário, com 20,2 mm de CP e 33 dias.

As larvas de piracanjuba da eclosão até 172 horas após eclosão ($CP = 11,94 \pm 0,80$ mm) apresentaram o desenvolvimento dos otólitos precoce, em comparação com o descrito por Xie et al. (2005) para larvas de jack mackerel (*Trachurus japonicus*).

Dale (1984) descreveu o desenvolvimento dos otólitos em embriões e larvas de bacalhau (*Gadus morhua*) e relatou que, provavelmente, a mácula sensorial se desenvolveu ao mesmo tempo.

Em larvas de sardinha japonesa (*Sardinops melanostictus*), às 79,5 horas, Matsuoka (2001) relatou que os três canais semicirculares com cristas tinham sido formados, e a partir desse momento, elas posicionaram-se horizontalmente e começaram a nadar para frente. Segundo este autor, a formação desses canais parece ser necessária para o equilíbrio do corpo dessas larvas, em que a bula pro-ótica estava cheia de gás e conectada com o utrículo, nos exemplares medindo 20,9 mm de CP.

Segundo Matsuoka (2001), o sáculo, a lagena e o sistema de bula auditiva-bexiga gasosa são importantes para a audição, e esta habilidade pode aumentar nas fases larvais avançadas e juvenis. Este autor relatou ainda que a lagena, último órgão do ouvido interno a ser formado, foi primeiramente observada nas larvas de sardinha japonesa (*Sardinops melanostictus*), com 20,90 mm de CP, e o sáculo estava completamente formado nos exemplares com 32 mm de CP.

De acordo com Xie et al. (2005), o desenvolvimento de otólitos pode ser, morfológicamente, dividido em quatro fases: 1) fase esférica, o eixo anteroposterior do otólito não é distinto e a sua forma é esférica; 2) fase alongada, o otólito prolonga-se ao longo do eixo anteroposterior e começa o desenvolvimento rostroanterior; 3) fase de formação do primórdio secundário, caracterizada pelo desenvolvimento de primórdios secundários ao redor do otólito, que é composto pela região de crescimento primária cercada por primórdios secundários, e pela região de crescimento marginal, localizada externamente aos primórdios secundários, em secção sagital. Na região de crescimento primário, este aumentou de forma concêntrica ao redor do nódulo, e na de crescimento marginal, incrementos são formados fora dos primórdios secundários. Este aumento nas duas regiões é conectado, e indica que, nessas regiões, os incrementos são formados diariamente na mesma proporção, durante esta fase. 4) fase de inclusão da região de crescimento primário pela de crescimento marginal, a região de crescimento marginal incluiu totalmente a de crescimento primário, exceto anteriormente. Nenhum primórdio secundário adicional é formado nas áreas dorsal, posterior e ventral, enquanto primórdios secundários anteriores continuam aumentando com o crescimento do otólito.

Segundo Assis (2000), sendo cerca de três vezes mais densos que o resto do corpo dos peixes, os otólitos desempenham funções essencialmente estáticas e/ou auditivas e, devido a algumas das suas características (dimensões, especificidade morfológica, acessibilidade, composição química, microestrutura, fase da ontogenia em que são formados e modo de crescimento), e à dependência dessas propriedades em relação à variação dos fatores do meio em que o animal vive, encontram-se atualmente entre as peças anatômicas dos peixes com grande utilidade, e seu estudo permite maior número de aplicações práticas.

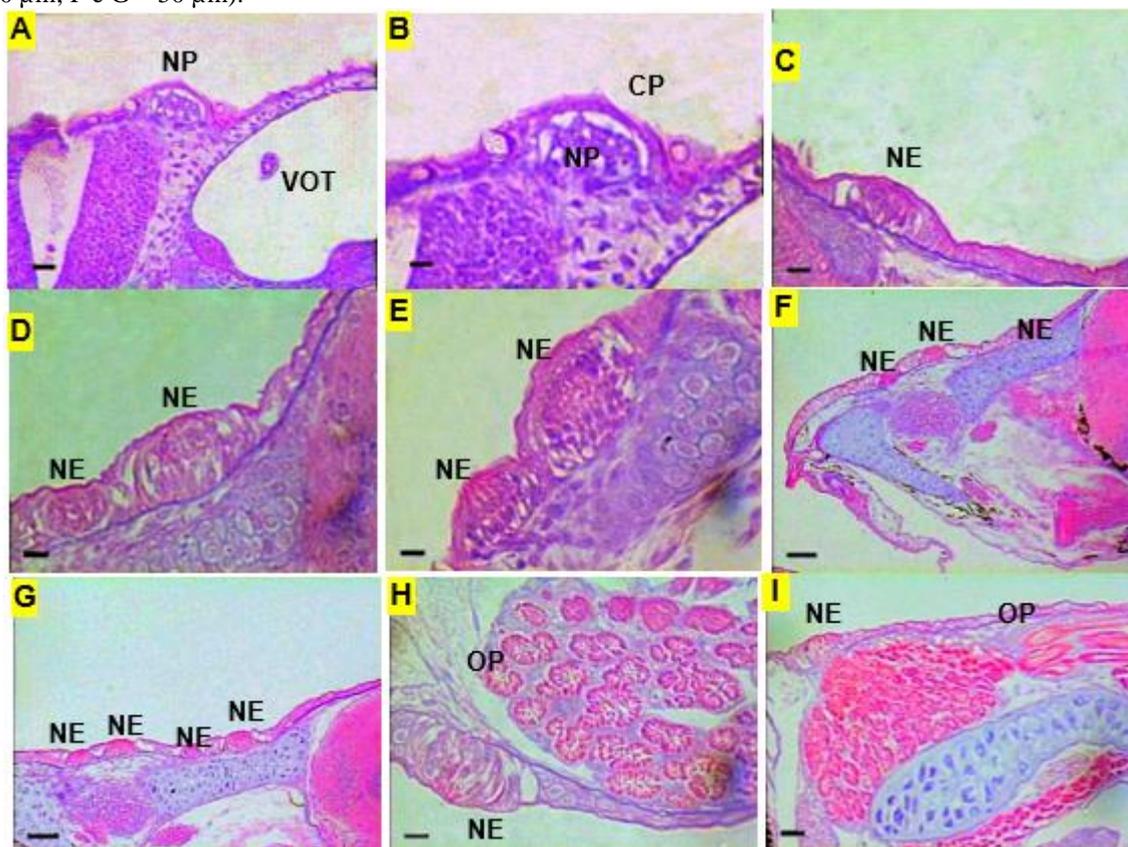
Durante as fases embrionária e larval, o tipo de otólito é dificilmente distinguível já que, durante as etapas mais precoces do desenvolvimento dos teleósteos, qualquer um dos pares se apresenta com uma forma discóide e dimensões semelhantes. Assim, a possibilidade de distinguir morfológicamente os pares de otólitos apenas se verifica a partir da fase juvenil, e enquanto os otólitos sagittae e lapilli se formam muito cedo, os asterisci formam-se tipicamente numa fase mais tardia do desenvolvimento, sendo normalmente menores (SECOR et al.,1992).

Assis (2000) relatou que é durante a transição da fase larval para a fase juvenil que, através de um processo de crescimento diferencial das várias regiões do otólito, se forma o sulco acústico dos sagittae e que os otólitos assumem a morfologia característica da espécie a que pertencem.

Segundo Matsuoka (2001), é possível que algumas espécies respondam ao som somente quando a bexiga gasosa encher com ar/ gás, mas este aspecto da biologia da larva tem recebido pouca atenção por parte dos pesquisadores.

Nas larvas de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), os neuromastos primordiais estavam presentes na região cefálica, entre as vesículas ótica e óptica. Com 17 horas após a eclosão, eles já haviam rompido a epiderme e possuíam uma cúpula diferenciada, eram formados por células sensoriais ciliadas e de suporte, radialmente organizadas. Estes neuromastos cresceram rapidamente, e suas células sensoriais possuíam cinetocílios mais longos (Figuras 2A e 2B).

Figura 2. Região cefálica das larvas de piracanjuba *Brycon orbignyanus* – Mecanorrecepção: Linha lateral. Secções sagitais, HE. A e B) 17 horas após eclosão; C) 28 horas após eclosão; D) 30 horas após eclosão; E) 36 horas após eclosão; F) 46 horas após eclosão; G) 64 horas após eclosão; H e I) 68 horas após eclosão, sendo: CP – Cúpula; NP – Neuromasto primordial; NE – Neuromasto, OP – Opérculo; VOT – Vesícula ótica (Barras: A e I = 20 µm; B, C, D, E e H = 10 µm; F e G = 50 µm).



Em geral, o primeiro primórdio de neuromasto é observado ainda no embrião sob a epiderme, entre as vesículas ótica e óptica, e desenvolve e emerge na superfície antes da eclosão. Nesta fase, as células desse neuromasto primordial são pouco diferenciadas, e várias horas depois, este neuromasto torna-se uma massa discoide subepidérmica envolvida por células achatadas, que convergem em uma cavidade apical. Segundo Nakatani et al. (2001), todas as larvas recém-eclodidas de peixes apresentam neuromastos na cabeça e no corpo.

Santos (1991) verificou que larvas de robalo (*Dicentrarchus labrax*) eclodiam com neuromastos situados na cabeça e no tronco, e que estas estruturas eram provavelmente funcionais, pois possuíam cúpula. Segundo este autor, essas larvas quando eclodiam estavam aptas a reconhecer

estímulos químicos e outros estímulos sensoriais, importantes para o reconhecimento do ambiente circundante.

Segundo Miyake et al. (1997), provavelmente, os neuromastos primordiais originaram da placa ou vesícula ótica e foram denominados neuromastos óticos.

Nas larvas de piracanjuba, o número de neuromastos na cabeça cresceu com seu o desenvolvimento. Nessas larvas, com 28 horas após a eclosão (CP = $6,73 \pm 0,16$ mm), um neuromasto foi verificado rostralmente na região cefálica (Figura 16C); com 30 horas, dois neuromastos foram observados nesta região (Figuras 2D e 2E). Já com 46 horas (CP = $8,09 \pm 0,22$ mm), três neuromastos nivelados com a epiderme e alinhados entre si na região rostral da região cefálica da cabeça formavam uma fileira supra orbital (Figura 2F), e com 64 horas após eclosão (CP = $8,47 \pm 0,37$ mm), já podiam ser identificados quatro neuromastos livres alinhados nesta região, e, provavelmente, farão parte de um dos canais orbitais (Figura 2G). Também foram observados neuromastos livres no epitélio opercular das larvas de piracanjuba, neste estudo, com 56 horas após a eclosão (CP = $8,5 \pm 0,17$ mm) (Figuras 2H e 2I).

Segundo Matsuoka (2001), os neuromastos livres formam pequenas cúpulas com um ápice mais ou menos cônico e quando estão inclusos em canais possuem uma cúpula em forma de pirâmide que cobre a área sensorial em forma de losango, o que não foi verificado nas larvas deste estudo, até 172 horas após eclosão.

Nas larvas de sardinha japonesa (*Sardinops melanostictus*), o canal da linha lateral da região cefálica começou a se formar em larvas com 20,9 mm de CP, quando os neuromastos livres começaram a aprofundar-se nos canais e a formação dos canais infra orbital e mandibular precedeu à dos canais supra orbital e pré-opercular, que estavam completos em larvas com 32,5 mm de CP (MATSUOKA, 2001).

A relação dos neuromastos com o comportamento alimentar é mais óbvia em algumas espécies cujas larvas podem se alimentar no escuro (APPELBAUM, 1976; JONES & JANSSEN, 1992; MUKAI et al., 1994), o mesmo se aplica aos adultos de torrent fish (*Cheimarrichthys fosteri*) (MONTGOMERY & MILTON, 1993) e aos juvenis de alewife (*Alosa pseudoharengus*) (JANSSEN et al., 1995), que não podem detectar a presa se o sistema linha lateral estiver bloqueado patologicamente.

A formação do sistema de linha lateral nas larvas de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) seguiu o mesmo padrão descrito para larvas de outros peixes (HARVEY et al., 1992; POLING & FUIMAN, 1997; DIAZ et al., 2003), e pode ser dividida em duas fases principais: a primeira, neuromastos superficiais aparecem e proliferam, e na segunda, acontece a formação de canais. Conforme Diaz et al. (2003), a primeira fase começa antes da eclosão e envolve a fase larval, e a

segunda caracteriza o período de transição da larva para alevino, sendo referida, por muitos autores, como uma metamorfose.

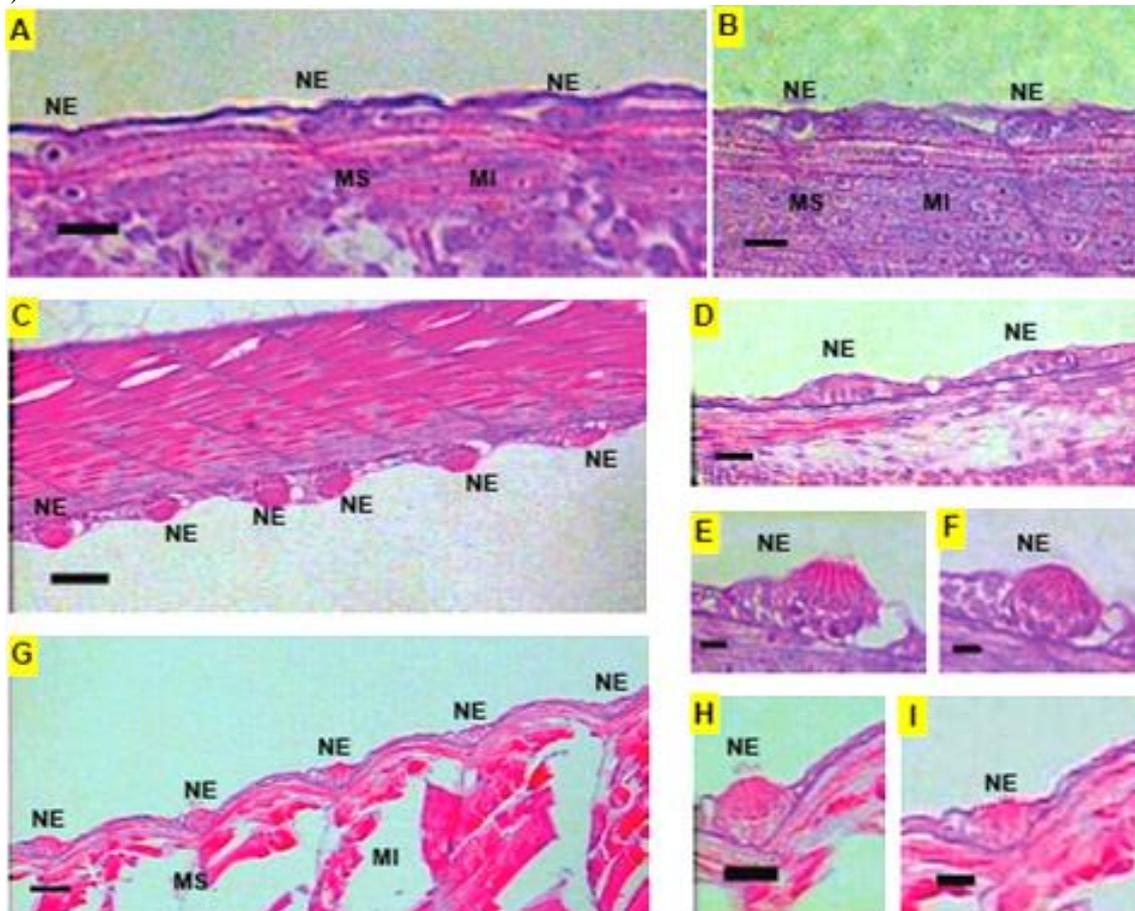
Os neuromastos aparecem muito cedo na ontogênese das larvas de peixes Teleostei (JONES & JANSSEN, 1992; OTSUKA & NAGAI, 1997; DIAZ et al., 2003). Matsuoka (2001) sugeriu que, assim como os neuromastos são morfológicamente diferenciados muito cedo, a diferenciação funcional também poderia ser cedo, o que também foi proposto por BLAXTER (1986) e OTSUKA & NAGAI (1997) para várias espécies de peixes.

Nas larvas de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), o primórdio migratório foi inicialmente dividido rostrocaudalmente em 3 a 4 grupos de células rudimentares, sendo que cada um originou um neuromasto primário com cavidade apical (Figuras 3A e 3B). O número de neuromastos primários, derivado diretamente do primórdio migrante na linha mediana corporal, acredita-se que seja quatro (Figura 3A). Como mostrado na Figura 3C, o número foi aumentado pelos neuromastos adicionais com o desenvolvimento das larvas.

Conforme Blaxter (1987), após a eclosão, a multiplicação dos neuromastos depende da taxa de crescimento. Eles crescem em número e são alinhados para marcar a posição dos futuros canais na cabeça e tronco. Segundo Otsuka (2003), a formação dos neuromastos da porção corporal do sistema de linha lateral, geralmente, começa com a migração caudal de um primórdio migratório, originado da placa pós-ótica ao longo do flanco, que se torna um espessamento alongado. Este primórdio deposita pequenas aglomerações de células que diferenciarão em neuromastos primários do tronco e da cauda

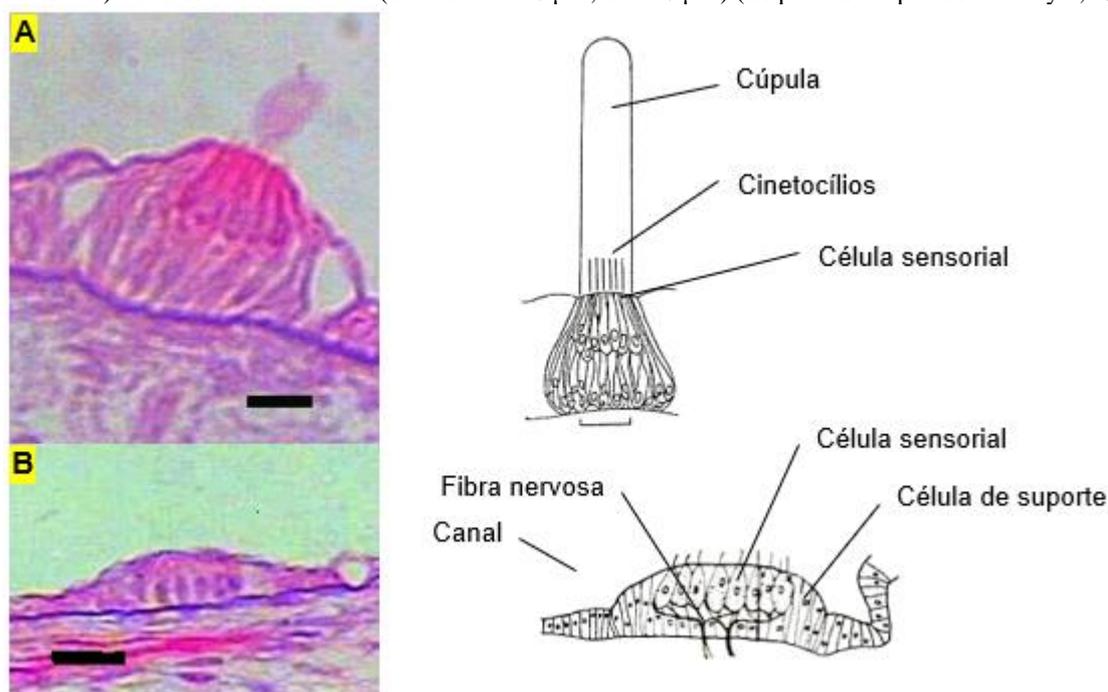
Metcalf (1989) e Otsuka (2003) informaram que neuromastos adicionais ou secundários aparecem entre os neuromastos primordiais pré-existentes. Conforme Webb (1989), um pequeno número de neuromastos é inicialmente formado rostrocaudalmente ao longo do comprimento corporal, e que neuromastos adicionais são então intercalados entre estes primários para formar as séries completas de neuromastos laterais. Entretanto, para Coombs et al. (1992), neuromastos secundários livres aparecem depois, tanto por erupção dos neuromastos primários ou surgindo da camada basal da epiderme, presumivelmente por indução neural.

Figura 3. Tronco das larvas de piracanjuba *Brycon orbignyanus* – Sistema de linha lateral. Secções sagitais, HE. A e B) quatro horas após eclosão; C e F) 52 horas após eclosão; D e E) 48 horas após eclosão; G, H e I) 124 horas após eclosão, sendo: NE – Neuromasto; MI – Miômeros; MS – Mioseptos (Barras: A, B, D, H e I = 20 μ m; C e G = 50 μ m; E e F = 10 μ m).



Nas larvas de piracanjuba, em estudo, alguns neuromastos eram arredondados e nivelados com a epiderme corporal (Figura 4), outros achatados e nivelados com a epiderme (Figuras 3D e 4) e outros, ainda, além de arredondados, ultrapassavam em altura a epiderme (Figuras 3E e 3F). A maioria dos neuromastos presentes no tronco das larvas de piracanjuba localizava-se em torno de mioseptos entre miômeros adjacentes (Figuras 3G e 3H). Estes neuromastos alinharam-se no tronco no padrão, o que sugere corresponder ao local dos futuros canais (Figuras 3G e 3H). Entretanto, nessas larvas, até 172 horas após eclosão (CP = 11,94 \pm 0,80 mm), os canais do sistema de linha lateral não haviam se formado.

Figura 4. Estrutura dos neuromastos de larvas de piracanjuba *Brycon orbignyanus*. Secção sagital, HE. A) Neuromasto arredondado e B) – Neuromasto achatado (Barras: A = 10 µm; B = 20 µm) (Esquemas adaptados de Hibiya, 1982).



Segundo Diaz et al. (2003), os canais são os últimos a aparecerem ao longo da linha lateral e surgem após o desenvolvimento das escamas. Para Otsuka (2003), mais estudos são necessários para confirmar a origem e o mecanismo de desenvolvimento dos neuromastos secundários do tronco.

Kuroda (1991) relatou que, nas larvas de sardinha japonesa (*Sardinops melanostictus*), o número de neuromastos livres no tronco diminuiu após as larvas alcançarem, aproximadamente, 7 mm (CT), e que praticamente desapareceram nos exemplares com 10-11 mm (CT). Assim, estudos adicionais são requeridos para diagnosticar se os neuromastos desaparecem ou mudam de forma com o desenvolvimento da larva.

Segundo Portella et al. (2013), os mecanorreceptores, como neuromastos do ouvido interno, da linha lateral e livres, se desenvolvem um pouco mais tardiamente que os quimiorreceptores, ou seja, após alguns dias da eclosão, exceto o neuromasto ótico, que, em pacu (*Piaractus mesopotamicus*), estava presente antes mesmo da eclosão.

Webb et al. (2020) reportaram que as disposições das linhas e dos neuromastos recebem informações dos movimentos da água ao redor, de acordo com o sentido da movimentação dos cílios presentes nos mesmos. Desta forma, dependendo das movimentações recebidas pelos diferentes neuromastos ao longo do corpo, o sistema nervoso dos peixes interpreta a direção do movimento e a intensidade do meio, disparando uma resposta.

Cruz et al. (2016) concentraram seus estudos na linha lateral dos peixes, um órgão sensorial menos estudado e menos sofisticado do que a visão, a audição ou mesmo a ecolocalização, porém, indispensável no conjunto de mecanorreceptores de peixes ósseos. Nas larvas de piracanjuba estudadas, a presença de tais estruturas nas primeiras horas pós eclosão, permitem inferir na capacidade predatória que tais indivíduos apresentam nesta fase do ciclo de vida

4 CONCLUSÕES

As larvas de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), com 28 horas após a eclosão ($CP = 3,35 \pm 0,13$ mm), desenvolveram estruturas mecanorreceptoras que as tornaram predadoras ativas e capazes de superar uma das etapas críticas da larvicultura, o início da alimentação exógena: presença de cristas ampulares na cavidade ótica e sistemas de linha lateral cefálico e corporal em formação. Com 72 horas após a eclosão ($CP = 9,13 \pm 0,18$ mm), apresentaram o sistema de linha lateral cefálico formado, e com 172 horas após a eclosão ($CP = 11,94 \pm 0,80$ mm), no final da metamorfose, o sistema de linha lateral e a audição em formação, estruturas que, em conjunto, contribuem com a melhor compreensão sobre a espécie e favorecem o manejo e a sobrevivência na larvicultura comercial da mesma.

AGRADECIMENTOS

À Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e sua equipe técnica, pela essencial colaboração com a doação do material biológico, primando pela preservação da fauna e do ecossistema aquático.

REFERÊNCIAS

APPELBAUM, S. The feeding behaviour of carp (*Cyprinus carpio* L.) larvae and the possibility of adapting them to artificial food. **Archiv fur Fisherei-wissenschaft**, v.27, p.133-141, 1976.

ASSIS, C.A.S. **Estudo morfológico dos otólitos sagitta, asteriscus e lapillus de teleósteos (Actinopterygii, Teleostei) de Portugal Continental. Sua aplicação em estudos de Filogenia, Sistemática e Ecologia.** Lisboa: UL, 1004p. Tese (Doutorado em Biologia - Ecologia e Biosistemática) - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2000.

BANCROFT, J.D.; STEVENS, A. **Theory and practices of histological techniques.** Churchill Livingstone, 4 ed., 1996. 166p.

BLAXTER, J.H.S. Development of sense organs and behavior of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. **Transactions of the American Fisheries Society**, v.115, p.98-114, 1986.

BLAXTER, J.H.S. Structure and development of the lateral line. **Biological Reviews**, v.62, p.471-514, 1987.

COOMBS, S., JANSSEN, J., MONTGOMERY, J. Functional and evolutionary implications of peripheral diversity in lateral line systems. In: WEBSTER, D.B., FAY, R.R., POPPER, A.N. (eds.): **The evolutionary biology of hearing.** Springer-Verlag, New York, 1992. p.267-294.

CRUZ, C. P.T.; LUCHIARI, A.C.; CORSO, G. A linha lateral dos peixes: comparando estratégias de busca em simetrias esférica e dipolar. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v.4, n.1, p.1-7, 2016.
DOI: 10.5540/03.2016.004.01.0050

DALE, T. Embryogenesis and growth of otoliths in the cod (*Gadus morhua* L.). **Flodevigen Rapportserie**, v.1, p.231-251, 1984.

DIAZ, J.P.; PRIÉ-GRANIÉ, M.; KENTOURI, M.; VARSAMOS, S.; CONNES, R. Development of the lateral line system in the sea bass. **Journal of Fish Biology**, v.62, p.24-40, 2003.

FATH EL-BAB, M.R. **Fundamentals of the Histology of Fish. Part I - Histology of Teleosts.** 2 ed. 2006. 138p.

HARVEY, R.; BLAXTER, J.H.S.; HOYT, R.D. Development of superficial and lateral line neuromasts in larvae and juveniles of plaice (*Pleuronectes platessa*) and sole (*Solea solea*). **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v.72, p.651-668, 1992.

HIBYIA, T. **An atlas of fish histology normal and pathological features.** Tokio: Kodansha, 1982. 147p.

HIDELBRAND, M.E.; GOSLOW JR, G.E. **Análise da Estrutura dos Vertebrados.** 2 ed. São Paulo: Atheneu, 2006.

JANSSEN, J.; JONES, W.R.; WHANG, A.; OSHEL, P.E. Use of the lateral line in particulate feeding in the dark by juvenile alewife (*Alosa pseudoharengus*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.52, p.358-363, 1995.

JONES, W.R.; JANSSEN, J. Lateral line development and feeding behavior in the mottled sculpin, *Cottus bairdi* (Scorpaeniformes: Cottidae). **Copeia**, p.485-492, 1992.

KAWAMURA G.; ISHIDA K. Changes in sense organ morphology and behaviour with growth in the flounder *Paralichthys olivaceus*. **Nippon Suisan Gakkaishi**, v.51, p.155–165, 1985.

KAWAMURA, G.; WASHIYAMA, N. Ontogenetic changes in behavior and sense organ morphogenesis in largemouth bass and *Tilapia nilotica*. **Transactions of the American Fisheries Society**, v.118, p.203-213, 1989.

KURODA, K. Studies on the recruitment process focusing on the early life history of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus* (Schlegel). **Bulletin of the National Research Institute of Fisheries Science**, v.3, p.25-278, 1991.

MACIEL, C.M.R.R. **Morfologia e potencialidade de *Hoplias cf lacerdae* (Ribeiro, 1908) (Characiformes, Erythrinidae) para localizar e selecionar o alimento, nas fases iniciais do ciclo de vida**. Viçosa, MG: UFV, 96p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MACIEL JÚNIOR, A. **Desenvolvimento inicial de larvas de Curimatá-pacu (*Prochilodus marggravii* Walbaum, 1792) (Characiformes, Prochilodontidae), submetidas a diferentes temperaturas de incubação**. Viçosa, MG: UFV, 60p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.

MATSUOKA, M. Development of sense organs in the Japanese sardine *Sardinops melanostictus*. **Fisheries Science**, v.6, p.1036-1045, 2001.

METCALFE, W.K. Organization and development of the zebrafish posterior lateral line. In: COOMBS, S., GÖRNER, P., MÜNZ, H. (eds.): **The mechanosensory lateral line**. Springer-Verlag: New York, 1989. p.147-159.

MIYAKE, T.; Von HERBING, I.H.; HALL, B.K. Neural ectoderm, neural crest, and placóides: Contribution of the placóide to the ectodermal lining of the embryonic opercular cavity in Atlantic cod (Teleostei). **Journal of Morphology**, v.231, p.231-252, 1997.

MONTGOMERY, J.C.; MILTON, R.C. Use of the lateral line for feeding in the torrent fish (*Cheimarrichthys fosteri*). **New Zealand Journal of Zoology**, v.20, p.121-125, 1993.

MUKAI, Y.; YOSHIKAWA, H.; KOBAYASHI, H. The relationship between the length of the cupulae of free neuromasts and feeding ability in larvae of the willow shiner *Gnathopogon elongates caeruleus* (Teleostei, Cyprinidae). **Journal of Experimental Biology**, v.197, p.399-403, 1994.

NAKATANI, K.; AGOSTINHO, A.A., BAUMGARTNER, G. et al. **Ovos e larvas de peixes de água doce: Desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá: EDUEM, 2001. 378p.

OLIVEIRA, M.R.; HAWKINS, S.J.; TRUEMAN, C.; YAMAMOTO, M.E.; CHELLAPPA, S. Revisão de estudos sobre determinação da idade através de otólitos dos peixes marinhos brasileiros. **Biota amazônica**, v4, n3, p.125-131, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia>.

ORR, R.T. **Biologia dos Vertebrados**. São Paulo: Roca, 508p. 1986.

OTSUKA, M. Neuromast formation in the prehatching embryos of the japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). **Acta Zoológica (Stockholm)**, v.84, p.99-106, 2003.

OTSUKA, M., NAGAI, S. Neuromast formation in the prehatching embryos of the cod fish, *Gadus macrocephalus* Tilesius. **Zoological Science**, v.14, p.475-481, 1997.

POLING, K.R.; FUIMAN, L.A. Sensory development and concurrent behavioural changes in Atlantic croaker larvae. **Journal of Fish Biology**, v.51, p.402-421, 1997.

PORTELLA, C.M.; LEITÃO, N.J.; TAKATA, R.; LOPES, T.S. Alimentação e Nutrição de Larvas. In: FRACALOSSO, D.M.; CYRINO, J.E.P. **NUTRIAQUA. Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013. 375p.

POUGH, F.H.; JANIS, C.M.; HEISER, J.B. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

SANTOS, A.M.P.A. Morfogênese dos estados larvares de *Solea senegalensis* Kaup e *Dicentrarchus labrax* L. **Revista de biologia da Universidade de Aveiro**, v.4, p.301-311, 1991.

SECOR, D.H.; DEAN, J.M.; LABAN, E.H. Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. In: Otolith Microstructure Examination and Analysis, D. K. Stevenson & S. E. Campana (eds.), **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.117, p.19-57. 1992.

SENOO, S.; ANG, K.J.; KAWAMURA, G. Development of sense organs and mouth and feeding of reared marble goby *Oxyeleotris marmoratus* larvae. **Fisheries Science**, v.60, p.361-368, 1994.

XIE, S.; WATANABE, T.; SARUWATARI, T.; MASUDA, R.; YAMASHITA, Y.; SASSA, C.; KONISHI. Growth and morphological development of sagittal otoliths of larval and early juvenile *Trachurus japonicus*. **Journal of Fish Biology**, v.66, n.6, p.1704, 2005.

WEBB, J.F.; COLLIN, S.P.; KUCIEL, M.; SCHULZ-MIRBACH, T.; ŻUWAŁA, K.; DENIZOT, J.P.; KIRSCHBAUM, F. Sensory Organs. 72p. In: KIRSCHBAUM, F.; FORMICKI, K. (Eds). **The Histology of Fishes**. 1 ed. CRC Press. 2020. 456p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429113581>

WEICHERT, C.K.; PRESCH, W. **Elementos de Anatomia de los Cordados**. Libros McGrawHill de México, México, 1981. 531 p.