



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA**

**A INFLUÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA VISÃO E DO
TAMANHO DO ALIMENTO NA LARVICULTURA DO DOURADO
Salminus brasiliensis (PISCES, CHARACIDAE).**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Aqüicultura, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Aqüicultura.

Orientador: Dr. Afonso C. D. Bainy.
Co-orientador: Dr. Paulo S. M. Carvalho.

GIULLIANA LIZBETH BERNAL SÁNCHEZ

**FLORIANÓPOLIS
2006**

Bernal-Sánchez, Giulliana Lizbeth

A influência do desenvolvimento da visão e do tamanho do alimento na larvicultura do dourado *Salminus brasiliensis* (Pisces, Characidae).- 2006.

f. 76; grafs., tabs.

Orientador: Dr. Afonso C. D. Bainy.

Co-orientador: Dr. Paulo S. M. Carvalho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.

Bibliografia: f. 55.

1. *Salminus brasiliensis*; 2. Acuidade visual; 3. Larvas de peixes; 4. Tamanho de presa; 5. Larvicultura

A influência do desenvolvimento da visão e do tamanho do alimento na larvicultura do dourado *Salminus brasiliensis* (Pisces, Characidae)

Por

GIULLIANA LIZBETH BERNAL SÁNCHEZ

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.

Profª. Débora Machado Fracalossi, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Dr. Afonso Celso Dias Bainy - *Orientador*

Dra. Eliane Gonçalves de Freitas

Dr. Evoy Zaniboni Filho

A mis papás, *Carlos Bernal* y *Elizabeth Sánchez*.

A mis hermanos *Carlos X*, *Rosa Maria* y *Andrea P*.

A mi abuelita *Dora Rivera*,

A quien en vida fue *Don Rubén Bernal*.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força, paciência, perseverança, saúde, paz e presença durante este extenso período longe da minha família.

À Universidade Federal de Santa Catarina, professores, funcionários, técnicos e alunos pela oportunidade de compartilhar e aprender novos conhecimentos.

Ao Dr. Afonso Bainy e ao Dr. Paulo Carvalho pela orientação, apoio, auxílio, ensinamentos e amizade durante o desenvolvimento e culminação da pesquisa realizada.

Ao LAPAD pela infra-estrutura, fornecimento de larvas de dourado e curimba para o desenvolvimento da pesquisa. Aos professores, funcionários e alunos que me ajudaram durante o período experimental.

Ao Marcos Weingartner pelos ensinamentos em piscicultura.

Ao Juan e Betina Esquivel da Piscicultura Panamá pelo fornecimento de larvas para a culminação da parte experimental da pesquisa.

À Dra. Aimê Rachel pela orientação e auxílio do processamento histológico das amostras, e à Dra Eliane Goldefer do Laboratório de Morfologia da UFSC, pela liberação do uso do micrótomo.

Ao César Penz do LABMETRO-UFSC, pelo auxílio no entendimento da parte elétrica e replica do sistema de avaliação da acuidade visual.

Ao pessoal do LABCAI, aos professores e alunos (mestrandos, doutorando e alunos da graduação) pela oportunidade de conhecê-los e trabalhar juntos. Em especial ao pessoal que trabalharam e trabalham na pesquisa do Dr Carvalho e ajudaram na parte experimental deste trabalho: Débora, Alemão, Daniel K e Ana Paula. Obrigada!

A meus queridos companheiros de turma: Márcia, Aparício, Luciana, Patrícia, Tom, Pedro, Fernanda, Moira, Francisco, pelo apoio, amizade e oportunidade de compartilhar experiências boas e ruins durante estes anos.

À família Vinatea: Luis, Cecília, Lucia e Bebeto, pelos momentos em família, fazendo sentir-me como em casa; assim como à família Muedas: Walter, Anita e Cristina, e à família de chilenos: Roberto, Carol e Matias. GRACIAS!

Ao meu grande e querido Camilo e a toda a sua família, pelo apoio, paciência, amizade e carinho, e por cada experiência vivida nesta Ilha. OBRIGADA!

“A mi familia y queridas (os) amigas (os) que con sus palabras me dieron fuerza para continuar y concluir esta fase lejos de casa. Los AMO A TODOS!!!”

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUÇÃO GERAL	1
I.1. A LARVICULTURA DO DOURADO <i>Salminus brasiliensis</i>	2
I.2. DESENVOLVIMENTO DA VISÃO E DA HABILIDADE PARA CAPTURA DE PRESAS.....	3
I.3. OBJETIVOS	6
II. CAPÍTULO 1: Efeito de diferentes tamanhos de presas no crescimento, no canibalismo e na captura de presas na larvicultura do dourado <i>Salminus brasiliensis</i>	7
II.1. RESUMO.....	7
II.2. ABSTRACT.....	7
II.3. INTRODUÇÃO	7
II.4. MATERIAL E MÉTODOS	9
II.4.1. Desenho experimental.....	9
II.4.2. Cultivo e manutenção das larvas de curimba e dourado	10
II.4.3. Qualidade de água.....	11
II.5. RESULTADOS.....	12
II.5.1. Desenvolvimento larval, sobrevivência, mortalidade e canibalismo.....	12
II.5.2. Crescimento em comprimento e peso e heterogeneidade de tamanhos.....	15
II.5.3. Consumo de presas de diferentes tamanhos por larva de dourado.....	16
II.6. DISCUSSÃO	17
II. 7. CONCLUSÕES	22
II.8. BIBLIOGRAFIA	23
III. CAPÍTULO 2. Ontogênese da visão e da habilidade para captura de presas no dourado <i>Salminus brasiliensis</i>	27
III.1. RESUMO.....	27
III.2. ABSTRACT.....	27
III.3. INTRODUÇÃO	27
III.4. MATERIAL E MÉTODOS	29
III.4.1. Acuidade visual comportamental.....	30
III.4.2. Análise histológica da retina e acuidade teórica.....	31
III.4.3. Limiar de visão escotópica.....	32
III.4.4. Captura de larvas de curimba em diferentes intensidades de luz.....	33
III.5. RESULTADOS.....	34
III.5.1. Acuidade visual comportamental.....	34
III.5.2. Análise histológica da retina e acuidade teórica.....	37
III.5.3. Limiar de visão escotópica.....	41
III.5.4. Captura de larvas de curimba em diferentes intensidades de luz.....	41
III.6. DISCUSSÃO	45
III.6.1. Acuidade visual.....	45
III.6.2. Limiar de visão escotópica.....	47
III.6.3. Captura de larvas de curimba em diferentes intensidades de luz.....	47
III.7. CONCLUSÕES	49
III.8. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA	49
CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	52
BIBLIOGRAFIA DA INTRODUÇÃO GERAL.....	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Relação trigonométrica da acuidade visual expressa pela equação: $\alpha=2\arctan [(D/2)/DR]$	4
CAPÍTULO 1: EFEITO DE DIFERENTES TAMANHOS DE PRESA NO CRESCIMENTO, CANIBALISMO E CAPTURA DE PRESAS NA LARVICULTURA DO DOURADO <i>SALMINUS BRASILIENSIS</i>	
Figura 1. Porcentagem de (a.) sobrevivência, (b.) canibalismo e (c.) mortalidade das larvas de dourados nas três fases do período experimental com quatro réplicas para cada tratamento (média \pm desvio padrão).....	14
Figura 2. Variação do peso e comprimento das larvas de dourado tratadas com diferentes tamanhos de presa no final do período experimental.....	15
Figura 3. Consumo de larvas forrageiras em número de curimba por cada larvas de dourado nas três fases do experimento.....	17
Figura 4. Biomassa ingerida (mg) de curimba por cada larvas de dourado nas três fases do experimento.	17
CAPÍTULO 2: ONTOGÊNESE DA VISÃO E DA HABILIDADE PARA CAPTURA DE PRESAS NO DOURADO <i>SALMINUS BRASILIENSIS</i> .	
Figura 1. Diagrama do sistema de avaliação do desenvolvimento da visão (adaptado de Carvalho et al 2002).....	30
Figura 2. Desenvolvimento ontogenético da acuidade comportamental de larvas de dourado <i>Salminus brasiliensis</i> entre o 2º e o 12º dia após a eclosão.	34
Figura 3. Corte transversal do olho de larvas de dourado, <i>Salminus brasiliensis</i> , nos primeiros dias de desenvolvimento (a.) 1º DAE, (b.) 2º DAE, (c.) 4º DAE, (d.) 5º DAE (e.) 6º DAE, (f.) 9º DAE. L, lente; R, retina; NO, nervo óptico; EP, epitélio pigmentado; CNI, camada nuclear interna; CG, células ganglionares. Corte de 4µm. A barra de escala tem 100µm de comprimento.....	38
Figura 4. Corte transversal da retina de larvas de dourado, <i>Salminus brasiliensis</i> , nos primeiros estágios de desenvolvimento. (a.) 1º DAE; (b.) 2º DAE; (c.) 3º DAE; (d.) 4º DAE; (e.) 6º DAE; (f.) 9º DAE. L, lente; NO, nervo óptico; E, elipsóides; CNE, camada nuclear externa; CPE, camada plexiforme externa; CNI, camada nuclear interna; CPI, camada plexiforme interna; CG, células ganglionares. Corte de 5µm. A barra de escala de 10µm de comprimento.....	39
Figura 5. Acuidade histológica (●) e comportamental (▼) ao longo do desenvolvimento inicial de larvas de dourado <i>Salminus brasiliensis</i>	40
Figura 6. Diâmetro da lente (●), densidade no número de elipsóides de cones (◆) ao longo do desenvolvimento inicial de larvas de dourado <i>Salminus brasiliensis</i>	40
Figura 7. Limiar da visão escotópica ao longo do desenvolvimento inicial do dourado <i>Salminus brasiliensis</i> . a,b: Letras diferentes indicam diferença significativa (ANOVA I, $p < 0,05$ seguido de teste Tukey, $p < 0,05$).	41

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1:

EFEITO DE DIFERENTES TAMANHOS DE PRESA NO CRESCIMENTO, CANIBALISMO E CAPTURA DE PRESAS NA LARVICULTURA DO DOURADO *SALMINUS BRASILIENSIS*

Tabela 1. Comprimento e peso médio dos três tamanhos de larvas forrageiras de curimba fornecidas como presa às larvas de dourado.	11
Tabela 2. Médias dos parâmetros de qualidade da água durante o período experimental.	12
Tabela 3. Crescimento em comprimento total e peso de larvas de dourados tratados com diferentes tamanhos de curimba.	15
Tabela 4. Número de presas consumidas e massa de ingerida (mg) por larva de dourado em cada uma das fases do período experimental.	16

CAPÍTULO 2:

ONTOGÊNESE DA VISÃO E DA HABILIDADE PARA CAPTURA DE PRESAS NO DOURADO *SALMINUS BRASILIENSIS*.

Tabela 1. Desenvolvimento da acuidade visual do dourado <i>Salminus brasiliensis</i> com as respectivas distâncias de reação a presas de diferentes dimensões.	35
Tabela 2. Valores das áreas de reação de larvas de dourado no 3 ^o , 5 ^o e 10 ^o dias após a.....	36
Tabela 3. Eficiência de captura (%) ao longo do desenvolvimento de larvas de dourado	43
Tabela 4. Número de presas capturadas ao longo do desenvolvimento de larvas de dourado.....	43
Tabela 5. Tempo de manipulação das presas durante o desenvolvimento de larvas de.....	44
Tabela 6. Número de ataques a larvas de curimba ao longo do desenvolvimento de larvas de	44

RESUMO

Este trabalho teve como objetivos avaliar a influência de três tamanhos diferentes de presa (larvas forrageiras de curimba *Prochilodus lineatus*) na taxa de canibalismo, ingestão de presas e crescimento durante nove dias da larvicultura do dourado *Salminus brasiliensis*. Também foram levantados conhecimentos básicos sobre o desenvolvimento da estrutura, função e relevância do sistema visual para a sobrevivência durante os primeiros dias de vida do dourado. Larvas de dourado foram alimentadas com larvas de curimba durante nove dias, sendo que o tratamento 1 (T1) recebeu durante todo o período experimental o menor tamanho de presa, o tratamento 2 (T2) recebeu o menor tamanho de presa do 1º ao 3º dia, e o tamanho intermediário de presa do 4º ao 9º dia. O tratamento 3 (T3) foi idêntico ao T2 até o 6º dia, e recebeu presas de tamanho grande do 7º ao 9º dia. A taxa de canibalismo foi maior em T2 (49,2%), talvez pela maior heterogeneidade de tamanho dos dourados, e menor em T3 (8,3%). O crescimento dos dourados foi maior quando alimentados com larvas de menor tamanho (T1). A acuidade visual do dourado foi quantificada pelo método optomotor baseado em uma resposta comportamental instintiva e pela histologia da retina. O ângulo de acuidade visual comportamental variou de 12 graus no segundo dia após a eclosão (2º DAE) a 2,5 graus no 12º DAE. Estes resultados de acuidade visual permitiram o cálculo de distâncias de reação das larvas de dourado a presas de diferentes tamanhos, tendo sido sugerido aplicações na larvicultura do dourado. Foram realizados testes de captura de curimbas por larvas de dourado individuais em condições de iluminância variando do escuro a condições fotópicas. Os resultados demonstraram que a visão não é o único sentido que a larva de dourado utiliza durante o início da alimentação exógena, e provavelmente o sistema mecanorreceptor está envolvido na captura de presas.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of using three different prey sizes during nine days of larviculture of the dourado *Salminus brasiliensis*. In addition, basic knowledge on the development of structure, function and relevance of the visual system to *S. brasiliensis* larvae early life survival was obtained. Treatment 1 (T1) received small curimba larvae as prey during nine days, while treatment 2 (T2) received small prey until the 3rd day, and intermediate size prey from 4th to 9th day. Treatment 3 (T3) received same types of prey used in T2 until the 6th day, and larger prey from 7th to 9th day of larviculture. Cannibalism rate was higher in T2 (49%), perhaps due to the larger size heterogeneity of dourado larvae in this treatment, and lower in T3 (8,3%). The highest growth rate was achieved in T1, where larvae were fed small prey only. Dourado larvae visual acuity was measured using the optomotor method, based on an instinctive behavior, and acuity was also measured based on retinal histology. Behavioral acuity varied from 12 degrees on the 2nd day after hatch to 2,5 degrees on the 12th day after hatch. Reaction distances to different sized prey were calculated based on these results, and suggestions for application of these measurements during the larviculture of *S. brasiliensis* were made. Prey capture efficiency experiments were done on dourado larvae at illuminance levels varying from darkness to photopic conditions. The results indicated that vision is not essential for *S. brasiliensis* to catch prey and survive during early life. The mechanoreceptor system is probably involved during this period.

I. INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura, definida como o cultivo de organismos aquáticos para o consumo é uma atividade relativamente nova – apesar das referências sobre cultivo de peixes na China acontecer há mais de 4.000 anos. Segundo a FAO, em 2003, a produção da aquicultura mundial (excluindo plantas aquáticas) foi de 42,3 milhões de toneladas com um ingresso de US\$ 61 bilhões. Com inclusão de plantas aquáticas, a produção incrementou para 54,8 milhões de toneladas gerando uma renda de US\$ 67,3 bilhões. A aquicultura mundial apresenta assim um crescimento anual superior a 10%.

A atividade da aquicultura no Brasil é recente, a produção total aumento de aproximadamente 30.000 toneladas em 1990 para 176.531 toneladas em 2000 e 277.640 toneladas para 2003 (FAO, 2005). A aquicultura no Brasil é predominantemente baseada em cultivos de pequena escala, sendo que em 1998 isto foi estimado que havia aproximadamente 100.000 tanques em uma área de 80.000 hectares.

No Brasil, de acordo com dados de 2002, o cultivo de peixes representou 69% da produção total, ou seja, aproximadamente, 169 858 toneladas, seguido pelos crustáceos com 64.043 toneladas (26%), moluscos com 11.685 toneladas (4,7%) e rãs com 597 toneladas (0,2%). A atividade piscícola teve um rápido crescimento entre 1990 e 2003, passando de 20,5 mil toneladas para 278 mil toneladas (IBAMA 2004).

A piscicultura de água doce no Brasil é uma atividade recente, porém, já superou a fase experimental e atualmente encontra-se em plena expansão operando em ritmo agro-industrial e com capacidade de ofertar alimentos de boa qualidade e a preços competitivos. As condições ambientais favoráveis e a existência de dezenas de espécies de peixes com grande potencial, com produtividade ao redor de 10 ton/ha/ano, representam vantagens competitivas do Brasil em relação a outros países.

As regiões Sudeste e Sul concentram quase 80% da piscicultura desenvolvida no país com destaque para os Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Minas Gerais. Somente os Estados de São Paulo e Santa Catarina representam mais de 60% da atividade (EMBRAPA 2006).

Santa Catarina é responsável por 19% da produção nacional de peixes de água doce, contando com cerca de 20 mil famílias envolvidas com a piscicultura. No entanto, mais de 95% dessa produção está baseada no cultivo de espécies exóticas como carpas, tilápias e bagre americano (Borghetii et al., 2003). As espécies de peixe nativas apresentam preço no mercado 4 a 6 vezes maior do que as exóticas, e seu cultivo poderia aumentar em muito a renda familiar dos produtores. Entretanto, seu comportamento migratório durante a época de reprodução dificulta o acesso destas famílias a alevinos destas espécies. A produção de alevinos em larga escala é uma das grandes limitações da piscicultura. Embora as técnicas de reprodução induzida sejam suficientemente conhecidas, o mesmo não acontece na larvicultura, etapa em que ocorrem as maiores perdas.

Para se atingir uma piscicultura intensiva, atividade que trata da criação de peixes de maneira exclusiva, isto é, com o controle de todos os elementos envolvidos na criação de peixes, é necessário desenvolver técnicas eficientes para todo o sistema de produção e manejo.

O maior problema enfrentado no cultivo de espécies nativas ocorre durante a larvicultura, devido às altas taxas de mortalidade observadas nos primeiros estágios larvais. Estas perdas estão associadas, principalmente, a problemas na alimentação dos peixes e, em algumas espécies, ao alto

grau de canibalismo, como pintado *Pseudoplatystoma sp.* (Castagnolli, 1992), matrinxã *Brycon cephalus* (Ceccarelli e Volpato, 1996), yamú *Brycon siebenthalae* (Atencio-García, 2000), piracanjuba *Brycon orbignyanus* (Senhorini, 1999) e o dourado *Salminus brasiliensis* (Pinto e Guglielmoni, 1988; Ceccarelli, 2002; Schutz, 2003).

I.1. A LARVICULTURA DO DOURADO *Salminus brasiliensis*

O dourado *Salminus brasiliensis* é bastante apreciado pela excelente qualidade da sua carne e pelo potencial de cultivo como peixe de mesa, na pesca esportiva ou mesmo como espécie ornamental (Kubitza 1995). *S. brasiliensis* tem hábito alimentar carnívoro desde a fase larval até o estágio adulto. Na fase larval e juvenil *S. brasiliensis* alimenta-se de larvas de outros peixes e também de microcrustáceos e insetos, e na fase adulta, exclusivamente de peixes (Morais Filho e Schubart, 1955; Zaniboni Filho, 2004).

Durante o ciclo de vida do dourado a eclosão das larvas ocorre entre 14 e 15 horas após a desova e fertilização dos óvulos quando a temperatura da água está entre 27 °C e 26 °C. A larva recém eclodida tem comprimento total médio de 4,8 mm. Possui um órgão adesivo na região frontal da cabeça e olhos em formação. O saco vitelínico é relativamente grande, de coloração verde (similar à cor dos ovos). Durante o estágio larval, aproximadamente 10 horas após a eclosão acentua-se a futura boca e o globo ocular, assim como esboços das maxilas. O saco vitelínico diminui de tamanho na parte distal (Morais Filho e Schubart, 1955). As larvas apresentam esboços dos dentes cônicos nas maxilas 20 horas após a eclosão. A ingestão de alimentos exógenos começa entre 25 e 28 horas após a eclosão, numa temperatura de 23 a 26 °C (Santos e Godinho 2002; Zaniboni Filho, 2004). Segundo Morais Filho e Schubart (1955), nesta fase a larva pode predar algas unicelulares e protozoários e posteriormente microcrustáceos, como cladóceros e copépodos, ou até se alimentar exclusivamente de larvas de outros peixes (Woynarovich e Sato, 1989). A absorção total do saco vitelínico e a completa pigmentação dos olhos ocorrem quando a larva está com 6,75mm de comprimento padrão (Morais Filho e Schubart, 1955; Nakatani et al., 2001), aproximadamente no 2º dia após eclosão (DAE). Santos e Godinho (2002) também observaram que as larvas cultivadas numa temperatura entre 23 e 25°C absorveram totalmente o saco vitelínico no terceiro dia após a eclosão (DAE).

Em larviculturas experimentais e comerciais tem sido verificado que a larva de dourado pode ser alimentada com larvas de outros peixes (larvas forrageiras), e é neste período de desenvolvimento larval que se inicia o canibalismo (Ceccarelli, 2002; Zaniboni Filho, 2003). Na fase larval ocorrem altas taxas de mortalidade por canibalismo que precisam ser avaliadas. Nesse sentido, é importante que sejam realizados estudos sobre o comportamento e alimentação de larvas de dourado na fase inicial de alimentação exógena mediante a utilização de outros peixes ou organismos planctônicos como presas, a fim de que se possa aprofundar o conhecimento dos mecanismos que levam à ocorrência do canibalismo durante a fase larval. Deste modo, poderia ser aumentada a sobrevivência até a o estágio de alevino ou juvenil, que se inicia quando o peixe atinge o comprimento total de aproximadamente 50 mm dos 20º DAE (Morais Filho e Schubart, 1955).

O comportamento canibalístico é um fenômeno comum em populações naturais e tem sido amplamente observado no reino animal. Este comportamento é mais comum em peixes do que em

vertebrados terrestres. Os fatores envolvidos na extensão e taxa de canibalismo em peixes podem ser enquadrados em duas categorias principais relacionadas ao tamanho ou a aspectos comportamentais (Fessehayé et al., in press). Na primeira categoria a principal causa do canibalismo são as alterações de tamanho dentro de uma coorte causada por fatores genéticos, tais como diferenças no tamanho dos ovos, ou as variações nas taxas de crescimento individuais. De acordo com as relações genéticas entre o peixe canibal e a presa, o comportamento pode ser classificado em três tipos: canibalismo filial (pais consomem seus próprios ovos ou larvas), fraternal (irmãos consomem seu irmãos), e heterocanibalismo (quando não houver relação genética com a presa) (Smith e Reay, 1991). Na segunda categoria os fatores comportamentais que afetam a taxa de canibalismo estão relacionados às características do ambiente em que as larvas estão se desenvolvendo. Entre estas estão a disponibilidade de alimento e frequência com que as presas alternativas são oferecidas, a densidade populacional, a turbidez, a intensidade de luz, a existência de refúgios e a heterogeneidade no tamanho das larvas (Hecht e Pienaar, 1993; Fessehayé, in press).

O canibalismo está intimamente ligado a espécies piscívoras, e existe uma real necessidade de se entender este fenômeno nos primeiros estágios de vida dos peixes, uma vez que este é um fator limitante no processo de produção de alevinos de peixes.

Na fase larval do dourado Schütz (2003) verificou que as larvas têm preferência por alimentos vivos e considera que seriam necessários testes para encontrar alimentos melhores, sugerindo que estes alimentos estariam presentes no habitat natural, podendo ser organismos que se aproximem do tamanho das pós-larvas do dourado, já que elas conseguem engolir presas de tamanho menor ou igual ao seu.

A larvicultura do dourado tem sido realizada com relativo sucesso no Laboratório de Biologia e Piscicultura de Peixes de Água Doce da Universidade Federal de Santa Catarina (LAPAD – UFSC) onde são utilizadas larvas recém-eclodidas de curimba *Prochilodus lineatus* como alimento, durante os primeiros dias de vida do dourado. Utilizando-se larvas recém eclodidas de curimba como alimento, as larvas de dourado aumentaram desde 4,73 mg em peso total no primeiro DAE para 130,8 mg no sétimo DAE (Weingartner, dados não publicados). Assim, é razoável propor que durante este rápido crescimento inicial das larvas de dourado ao longo dos primeiros dias após a eclosão induza a um aumento do interesse destas larvas por presas de maior tamanho para otimizar a sua ingestão de energia por presa capturada, e que a falta desta oferta de presas de maior tamanho pode trazer como consequência um aumento na taxa de canibalismo.

Desta forma, o primeiro objetivo deste estudo envolveu a larvicultura do dourado durante os dez primeiros dias após a eclosão. Foram comparados grupos de larvas de dourado alimentadas com presas de diferentes tamanhos representadas por larvas de curimba *Prochilodus lineatus*.

I.2. DESENVOLVIMENTO DA VISÃO E DA HABILIDADE PARA CAPTURA DE PRESAS

A visão tem um papel crucial nos primeiros estágios de vida da maioria dos peixes teleósteos, sendo o período em que ocorre o desenvolvimento do olho e o estabelecimento de visão funcional

essencial para percepção do alimento (Gerking, 1994) e para evitar o ataque de predadores (Fuiman e Magurran, 1994). A capacidade visual dos peixes tem sido avaliada através do uso de métodos comportamentais, os quais tendem a estar intimamente relacionado ao desempenho das capacidades sensoriais do animal. A percepção visual tem componentes de resolução espacial (a capacidade para discriminar detalhes) e resolução temporal (a capacidade de detectar movimento). O estudo de aspectos espaciais e temporais no sistema visual dos peixes pode ser baseado na avaliação da resposta optomotora, um comportamento instintivo apresentado pelos peixes em que eles nadam na mesma direção do movimento de faixas pretas e brancas movimentando-se dentro do seu campo de visão (Harden Jones, 1963). O estudo da visão em peixes também pode ser avaliado com base na resposta optocinética, comportamento instintivo em que o movimento do olho varia conforme os peixes acompanham a direção do movimento das faixas pretas e brancas mencionadas (Easter e Nicola 1996). Com base nestas respostas comportamentais instintivas, tem sido demonstrado que a maioria das larvas de peixe passam por um rápido processo de desenvolvimento e maturação do seu sistema visual nos primeiros estágios de desenvolvimento, logo após a sua eclosão (Carvalho et al., 2004; Carvalho et al., 2002; Neave, 1984). A acuidade visual é um parâmetro fundamental relacionado ao sistema visual que foi quantificado nestes estudos e pode ser definido como o mínimo ângulo que um estímulo projeta na retina e que ainda pode ser detectado. A detecção neste caso é aferida pela constatação de uma resposta comportamental operacionalmente definida. A Figura 1 ilustra a definição do ângulo de acuidade em termos genéricos com o triângulo que relaciona a distância de reação (DR) com a dimensão do menor estímulo detectável (D). No caso do sistema de avaliação visual utilizado neste trabalho, DR equivale a R, que é fixo no sistema e varia-se durante os testes a largura das listras (L que equivale a D na figura 1), até se determinar o menor L detectável. Os ângulos de acuidade visual quantificado neste estudo são um exemplo destes parâmetros, e podem ser expressos em termos de uma distância de reação (DR) a uma presa de determinado tamanho.

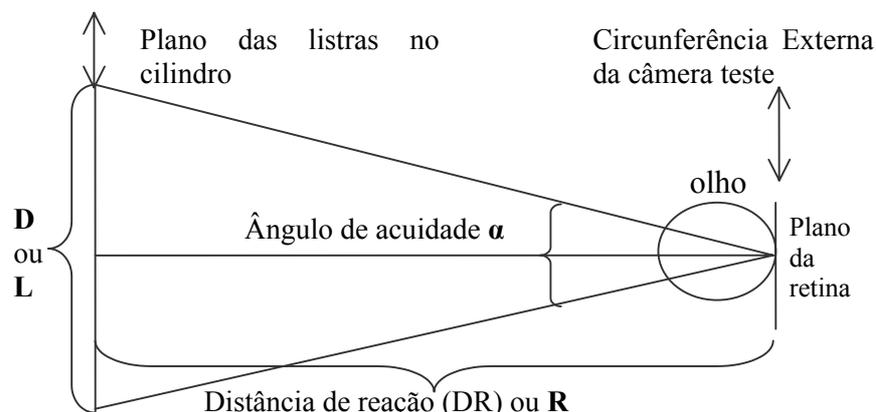


FIGURA 1. Relação trigonométrica da acuidade visual expressa pela equação: $\alpha = 2 \arctan [(D/2)/DR]$.

O desenvolvimento inicial da acuidade visual e de outros parâmetros relacionados à capacidade visual do dourado é desconhecido, e este processo certamente influencia a aptidão das

larvas e pós-larvas para localizar, capturar e ingerir presas. No primeiro dia após a eclosão do dourado, o desenvolvimento ainda incompleto da estrutura dos olhos e a ausência de pigmentação dos olhos sugerem uma ausência de visão funcional, sendo que a capacidade visual destas larvas deve evoluir rapidamente nos primeiros dez dias após a eclosão. O detalhe deste processo de desenvolvimento do sistema visual permite que se avalie quantitativamente a capacidade de detecção de presas de diferentes dimensões pelas larvas de dourado. Esta capacidade de detecção, por sua vez, pode estar relacionada com a maior ou menor possibilidade de captura de presas de dimensões diferentes (larvas forrageiras de curimba ou larvas de dourado irmãs) pelas larvas de dourado.

Desta forma, o segundo objetivo deste estudo envolve a caracterização do desenvolvimento da capacidade visual de larvas de dourado com base nas respostas comportamentais optomotora e optocinética, e também a caracterização histológica do desenvolvimento da retina ao longo dos dez primeiros dias após a eclosão de larvas de dourado.

Alguns estudos têm se dedicado à avaliação da influência da intensidade luminosa e do fotoperíodo sobre o crescimento de larvas de peixes (Hecht e Pinneer, 1993; Baras, 1999; Kestemont et al., 2003). Geralmente nos estágios iniciais de desenvolvimento larval, os peixes necessitam de uma luminosidade mínima para visualizar o alimento e, desta forma, serem capazes de se desenvolver e crescer adequadamente (Blaxter, 1986). Segundo Boeuf e Le Bail (1999), a intensidade de luz é importante tanto para larvas como para peixes adultos, estando diretamente relacionada à capacidade dos peixes de localizar a sua presa através da visão, e possivelmente efetuar a sua captura e ingestão. Kestemont et al.(2003) observou que larvas de perca criadas sob luz clara (400 lux) mostraram elevada sobrevivência e rápido crescimento quando comparadas com larvas cultivadas em baixos níveis de luz. Este maior crescimento e sobrevivência em maiores intensidades de luz também foram encontradas por Dabrowski (1982) e Hinshaw (1985) que determinaram a intensidade ótima de luz para o cultivo de larvas de lúcio e perca amarela em 1500 lux e 730 lux, respectivamente. No caso do dourado, resultados de Schütz (2003) indicaram um melhor crescimento de larvas de dourado alimentadas com larvas de curimba recém-eclodidas e mantidas constantemente em tanques cobertos com uma lona preta (fotoperíodo de 0 horas luz: 24 horas escuro) quando comparadas com larvas mantidas em fotoperíodo alternando 14 horas luz: 10 horas escuro ou larvas mantidas sob iluminação constante as 24 horas do dia. Schütz (2003) supõe que as pós-larvas de dourado mantidas sob ausência de luz possam ter desenvolvido alguma outra função sensorial além do sistema visual para facilitar a detecção das presas.

Desta forma o terceiro objetivo deste estudo envolve a avaliação comportamental da capacidade de larvas de dourado de detectar e capturar presas representadas por larvas de curimba em diferentes intensidades de luz, variando desde intensidades muito baixas em que a visão certamente não é funcional (abaixo de 1×10^{-5} lux), passando por intensidades luminosas dentro da faixa considerada escotópica(visão noturna), que vai até 1×10^{-2} lux, e atingindo a faixa considerada fotópica (visão diurna), acima de 1×10^{-2} lux.

I.3. OBJETIVOS

- I.3.1. Avaliar a influência da oferta de diferentes tamanhos de larvas de curimba na taxa de canibalismo, sobrevivência e crescimento de larvas de dourado ao longo de dez dias após a eclosão.
- I.3.2. Caracterizar o desenvolvimento da capacidade visual de larvas de dourado com base nas respostas comportamentais optomotora e optocinética, e caracterizar histologicamente o desenvolvimento da retina ao longo dos dez primeiros dias após a eclosão de larvas de dourado.
- I.3.3. Avaliar comportamentalmente a capacidade de larvas de dourado de detectar e capturar presas representadas por larvas de curimba em diferentes intensidades de luz.

II. CAPÍTULO 1: Efeito de diferentes tamanhos de presas no crescimento, no canibalismo e na captura de presas na larvicultura do dourado *Salminus brasiliensis*.

Effects of prey size on growth, cannibalism and prey capture on the larviculture of dourado *Salminus brasiliensis*.

II. 1. RESUMO

A larvicultura do dourado *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816) freqüentemente apresenta taxas significativas de mortalidade associadas ao comportamento canibal. Este trabalho teve como objetivo a avaliação da influência de diferentes tamanhos de presa (larvas forrageiras de curimba *Prochilodus lineatus*) na taxa de canibalismo, ingestão de presas e crescimento durante nove dias da larvicultura do dourado. Cada réplica de unidade experimental refere-se a 30 larvas de dourado cultivadas em aquários de 3 litros. Foram avaliadas quatro réplicas de cada tratamento. O fornecimento de alimento foi iniciado 24 horas após a eclosão. No tratamento 1 (T1) os dourados receberam larvas de curimba com comprimento médio de $6,2 \pm 0,36$ mm (média \pm desvio padrão) durante os nove dias de larvicultura. No tratamento 2 (T2) as larvas de dourado receberam as mesmas presas de T1 até o terceiro dia de larvicultura e larvas de curimba com comprimento médio de $7,65 \pm 0,5$ mm do quarto ao nono dia de larvicultura. No tratamento 3 (T3) as larvas de dourado receberam os mesmos tamanhos de presa que o tratamento 2 até o sexto dia, e do sétimo ao nono dia foram alimentadas com larvas forrageiras de comprimento médio igual a $8,95 \pm 0,6$ mm. A taxa de canibalismo foi maior em T2 (49,2%), talvez pela maior heterogeneidade de tamanho dos dourados, e menor em T3 (8,3%). O consumo total de larvas de curimba por larva de dourado no final do período experimental foi de $49,8 \pm 1,5$ em T1, $35,0 \pm 1,8$ em T2, e $25,5 \pm 1,0$ em T3, sendo estas médias estatisticamente diferentes ($p < 0,001$). O crescimento dos dourados foi maior quando alimentados com larvas de menor tamanho (T1), quando comparado com dourados alimentados com presas maiores (T2 e T3) ($p < 0,05$). Os dourados apresentaram maior facilidade de captura e ingestão de presas de menor tamanho.

Palavras chaves: *Salminus brasiliensis*; dourado; tamanho de presa; sobrevivência; canibalismo.

II.2. ABSTRACT

The larviculture of dourado *Salminus brasiliensis* is frequently associated with high mortality rates related to cannibalism between siblings depending on the characteristics of the prey items available. This study evaluated the influence of using three different prey sizes ("curimba" larvae *Prochilodus lineatus*) during nine days of larviculture of the dourado *Salminus brasiliensis* in cannibalism, ingestion and growth rates. Feeding was initiated 24 hours after hatch. Treatment 1 (T1) received small curimba larvae as prey during nine days, while treatment 2 (T2) received small prey until the 3rd day, and intermediate size prey from 4th to 9th day. Treatment 3 (T3) received same types of prey used in T2 until the 6th day, and larger prey from 7th to 9th day of larviculture. Cannibalism rate was higher in T2 (49%), perhaps due to the larger size heterogeneity of dourado larvae in this treatment, and lower in T3 (8,3%). The total number of ingested prey was 49.8 ± 1.5 in T1, 35.0 ± 1.8 in T2, and 25.5 ± 1.0 in T3. The highest growth rate was achieved in T1, where larvae were fed small prey only. Prey sizes were within the range that dourado larvae could ingest, but the smallest prey sizes were easier to capture and ingest.

Keywords: *Salminus brasiliensis*; dourado; prey size; cannibalism; survival.

II. 3. INTRODUÇÃO

O maior problema enfrentado no cultivo de espécies nativas de peixes, como o dourado *Salminus brasiliensis*, ocorre na fase de larvicultura, uma vez que nesta etapa da produção são observadas altas taxas de mortalidade nos primeiros estágios larvais associadas ao fenômeno do canibalismo (Castagnolli, 1992; Ceccarelli, 1997; Senhorini, 1999; Atencio-García, 2000).

O comportamento canibalístico é um fenômeno comum em populações naturais e tem sido amplamente observado no reino animal. Os fatores envolvidos na extensão e taxa de canibalismo

durante o desenvolvimento inicial de peixes podem ser enquadrados em duas categorias principais, relacionadas ao tamanho da espécie em questão ou relacionadas a aspectos comportamentais (Fessehay, in press). Na primeira categoria a principal causa do canibalismo são as variações de tamanho dentro de uma coorte causada por fatores genéticos como diferenças no tamanho dos ovos e nas taxas de crescimento individuais. Na segunda categoria os fatores comportamentais que afetam a taxa de canibalismo estão relacionados às características do ambiente em que os peixes estão se desenvolvendo. Entre estas estão a disponibilidade e tamanho do alimento (Turesson et al. 2002), frequência com que presas alternativas são oferecidas (Hecht e Appelbaum, 1988; Katavic et al., 1989; Folkvord e Ottera, 1993), a densidade populacional (Hunter, 1975; Melard et al. 1996), a turbidez (Grecay e Targett, 1996; Utne-Palm, 1999), a intensidade de luz (Boeuf e Le Bail, 1999); Appelbaum e Kamler 2000; Puvanendran e Brown 1998), a existência de refúgios (Dou et al., 2000; Lehtiniemi, 2005), e a heterogeneidade no tamanho das larvas (Hecht e Pienaar, 1993; Dou et al., 2000).

O canibalismo está intimamente ligado a espécies piscívoras, e é fundamental que se entenda este fenômeno nos primeiros estágios de vida dos peixes, uma vez que este é um fator limitante no processo de produção de alevinos. De acordo com as relações genéticas entre o peixe canibal e a presa, o comportamento pode ser classificado em três tipos: canibalismo filial (pais consomem seus próprios ovos ou larvas), fraternal (irmãos consomem seu irmãos), e heterocanibalismo (quando não houver relação genética com a presa) (Smith e Reay, 1991). O canibalismo fraternal é comum durante a larvicultura do dourado (Ceccarelli, 2002; Schütz, 2003).

Pouco se conhece sobre o tamanho de presa adequado ao longo do desenvolvimento ontogenético entre diferentes tipos de peixes que apresentam comportamento canibal. O tamanho máximo de presa capturável, é limitado pela abertura máxima da mandíbula do predador (Dabrowski e Bardega, 1984), e/ou pela habilidade de natação do predador e da presa (Christensen 1996). Entretanto, os peixes canibais de maior tamanho geralmente selecionam peixes menores do que o tamanho máximo capturável (Baras e Jobling 2002). Em relação ao tamanho mínimo de presa capturável os fatores mais importantes estão relacionados à capacidade de detecção da presa pela visão (Breck e Gitter 1983), e à capacidade de retenção da presa eficientemente pelo predador (Fessehay, in press).

Na fase larval do dourado, Schütz (2003), observou que as larvas de dourado são extremamente vorazes e começam a consumir alimento exógeno após 24 horas a eclosão. A grande abertura da boca na primeira alimentação (ao redor de 600 μm) permite predação de alimento vivo de grande tamanho desde o início da alimentação exógena, e verificou que as larvas conseguem engolir presas de dimensões menores ou quase iguais às suas. O tamanho e a disponibilidade de presas são fatores importantes para o controle do comportamento canibalístico em peixes (Baras et al., 2000; Qin e Fast, 1996). Desta forma, fornecendo um tamanho de presa apropriado e suficiente se evitaria o canibalismo na fase de larvicultura de dourado. Em muitas espécies de peixes, o canibalismo representa apenas uma parte ocasional da dieta, mas isto pode incrementar sob condições de cultivo, quando não existe a possibilidade de refúgio para as larvas menores, ou quando o alimento ou presa não está disponível em quantidade suficiente (Baras et al., 1998).

A larvicultura do dourado tem sido realizada com relativo sucesso no Laboratório de Biologia e Piscicultura de Peixes de Água Doce da Universidade Federal de Santa Catarina (LAPAD – UFSC) utilizando-se como alimento larvas recém-eclodidas de curimba *Prochilodus lineatus* durante os primeiros dias de vida do dourado. Em um estudo típico utilizando-se larvas recém-eclodidas de curimba como presas, as larvas de dourado aumentaram de 4,73 mg em peso total no primeiro dia após a eclosão (DAE) para 130,8 mg no sétimo DAE (Weingartner, dados não publicados). Baseado nestes resultados pode-se supor que este rápido crescimento inicial de larvas de dourado, ao longo dos primeiros dias após a eclosão induzam a um aumento do interesse destas larvas por presas de maior tamanho para otimizar a sua ingestão de energia por presa capturada, e que a falta desta oferta de presas de maior tamanho pode trazer como consequência um aumento da taxa de canibalismo.

Desta forma, o objetivo deste estudo envolve a análise da larvicultura do dourado durante os dez primeiros dias após a eclosão comparando-se grupos de larvas de dourado alimentadas exclusivamente com larvas de curimba recém-eclodidas e grupos de dourado alimentados com larvas de curimba de tamanho crescente ao longo dos nove dias iniciais de larvicultura.

II.4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no mês de janeiro de 2005, na Estação de Piscicultura de São Carlos (EPISCar), localizada no município de São Carlos (SC) e vinculada ao Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD) da Universidade Federal de Santa Catarina. Os reprodutores de dourado *Salminus brasiliensis* e curimba *Prochilodus lineatus* obtidos do estoque da EPISCar eram oriundos da Bacia do rio Uruguai, e as larvas de dourado e curimba foram obtidas a partir de reprodução induzida mediante metodologia empregada para reprodução de dourado e curimba na estação, segundo procedimento descrito por Zaniboni Filho e Barbosa 1996.

II.4.1. Desenho experimental

Foram aplicados três tratamentos relativos aos diferentes tamanhos de larvas de curimba (larvas forrageiras – LF) oferecidos às larvas de dourado durante nove dias de larvicultura, com quatro réplicas de cada tratamento.

Tratamento 1 (T1): Cada larva de dourado recebeu durante todo o experimento larvas forrageiras LF1 de curimba, que consistiram de larvas recém eclodidas ou com idade de até 48 horas após a eclosão, com dimensões descritas na Tabela 1.

Tratamento 2 (T2): Cada larva de dourado recebeu larvas LF1 durante os três primeiros dias do experimento (fase 1). A partir do 4º dia até o final do experimento, as larvas de dourado receberam larvas LF2, consistindo de curimbas com idade entre 4 a 7 DAE (Tabela 1).

Tratamento 3 (T3): Cada larva de dourado recebeu larvas LF1 durante os primeiros três dias. No 4º, 5º e 6º dia (fase 2) as larvas de dourado receberam larvas LF2. A partir do 7º dia as larvas de dourado receberam LF3 até o final do período experimental (fase 3), consistindo de curimbas com idade de 15 DAE (Tabela 1).

Para cada unidade experimental foram utilizados aquários de vidro cilíndrico com um volume de água de 3 litros. Foram estocadas 10 larvas de dourado por litro de água, e 70% da água dos aquários foi trocada diariamente e mantida com aeração contínua.

No início de cada fase foram fornecidas em número 8 larvas de curimba por larva de dourado, e cada dia foi aumentado o número de presas fornecidas dependendo do consumo das larvas de dourado em cada tratamento. No final de cada fase foram contabilizadas as larvas de curimba fornecidas para calcular o número de larvas consumidas em cada fase para cada tratamento.

Nos três tratamentos foi observado o comportamento das larvas de dourado de cada aquário antes e após cada alimentação. Os peixes sobreviventes foram sistematicamente contabilizados no final de cada fase, a cada três dias, como descrito no desenho experimental. No final do período experimental todos os peixes sobreviventes foram sistematicamente medidos o comprimento e o peso. A sobrevivência, o canibalismo, o crescimento e a heterogeneidade de tamanhos foram calculados da seguinte maneira:

A sobrevivência foi calculada como a diferença entre o número inicial e número final de cada tratamento; enquanto que as larvas de dourado encontradas mortas no fundo do aquário eram contabilizadas como mortalidade natural. O canibalismo foi contabilizado como as larvas de dourado que sumiram do aquário. A heterogeneidade de tamanhos foi calculada em base a seguinte equação: heterogeneidade de tamanhos = CV_{wf} / CV_{wi} , onde W: representa o peso inicial e final, e CV = coeficiente de variação ($D.P \times 100 / média$). (Kestemont et al, 2003).

Concluído o período experimental todas as larvas de dourado que ficaram foram fixadas em solução de formol tamponado 4%. Dos três diferentes tamanhos oferecidos aos dourados, vinte larvas de curimbas, foram fixados a cada dia em formol 4% para quantificação de suas dimensões. O comprimento das larvas de dourado foi medido com o auxílio de um paquímetro ($\pm 0,01mm$) e o peso com uma balança analítica ($\pm 0,001 g$) no final do experimento para se avaliar o crescimento final.

II.4.2. Cultivo e manutenção das larvas de curimba e dourado

Foram realizadas diversas desovas induzidas de curimbas com a finalidade de serem obtidas larvas de curimba de diferentes tamanhos. Após a desova dos curimbas, os ovos foram incubados em incubadoras com formato de funil de 200 litros, e mantidos com fluxo de água constante e fotoperíodo natural (14h luz – 10h escuro).

A primeira indução artificial à desova de curimba foi realizada 10 dias antes de ser iniciado o experimento com os dourados para permitir que as larvas de curimba atingissem o maior tamanho de curimba desejado, denominado larva forrageira 3 (LF3). Para obtenção do tamanho intermediário de curimbas, denominado larva forrageira 2 (LF2), a desova foi realizada junto com a desova de dourado, no início do período experimental. Foram feitas duas outras desovas de curimba durante o período experimental para obtenção do menor tamanho de curimbas, denominado larva forrageira 1 (LF1).

As larvas de curimba LF2 foram alimentadas com *Artemia* com a finalidade de se manter um crescimento constante e homogêneo. As larvas LF3 foram alimentadas com *Artemia* e ração com o

intuito de se obter um crescimento acelerado e de se atingir os tamanhos desejados de presa. As larvas LF1 eram mantidas nas incubadoras até fornecimento às larvas de dourado. As medidas de comprimento e peso dos três grupos de larvas de curimba fornecidas aos dourados estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Comprimento e peso médio dos três tamanhos de larvas forrageiras de curimba fornecidas como presa às larvas de dourado.

Larvas Forrageiras (LF)	Comprimento (mm) (média ± desvio padrão)	Peso (mg) (média ± desvio padrão)
1- Pequeno	6,20 ± 0,356 ^a	1,27 ± 0,285 ^a
2- Médio	7,65 ± 0,507 ^b	3,41 ± 0,838 ^b
3- Grande	8,95 ± 0,676 ^c	6,92 ± 1,500 ^c

a, b, c : letras diferentes indicam diferença significativa entre os grupos ($p < 0,05$; ANOVA seguida de teste de Tukey).

Após a desova induzida dos dourados, os ovos de foram incubados em incubadoras com formato de funil de 200 litros, e mantidos com fluxo de água constante e fotoperíodo natural (14hs luz - 10hs escuro). Desde a eclosão as larvas foram observadas com auxílio de uma lupa para a verificação da abertura da boca e início da alimentação exógena, que aconteceu após 18 horas. As larvas foram transferidas para as unidades experimentais com 24 horas, quando apresentavam comprimento total inicial (média ± erro padrão) de $5,74 \pm 0,23$ mm e peso médio inicial 1,5 mg.

II.4.3. Qualidade de água

As unidades experimentais foram sifonadas diariamente no período da tarde após a medição dos parâmetros de qualidade de água, utilizando-se mangueira fina e tela de 0,2 mm de abertura para a renovação de 70% do volume de água. No tratamento 3 (T3) descrito no desenho experimental foi necessário realizar duas trocas de água por dia a partir do 7º dia. Durante o período experimental a temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido foram monitorados duas vezes ao dia (08:00 e 17:00), com o auxílio de um termômetro e de um oxímetro YSI-5S. O pH foi medido utilizando-se um peagâmetro digital YSI, uma vez ao dia. As concentrações de amônia, nitrito, dureza e alcalinidade foram determinadas por análises colorimétricas de cartela da marca Alfakit (sistemas portáteis comerciais) com sensibilidade de 0,5 mg/l para amônia; de 0,025 ppm para nitrito; e para o cálculo das concentrações de dureza e alcalinidade foi determinada por análises volumétricas da marca Alfakit com sensibilidade de 4mg/l CaCO_3 . Amônia e nitrito foram quantificados a cada dois dias; e dureza e alcalinidade foram medidas no começo e no final do experimento.

As médias dos parâmetros de qualidade da água foram semelhantes entre os tratamentos e permaneceram entre os valores aceitáveis para o cultivo de peixes (Tabela 2).

Tabela 2. Médias dos parâmetros de qualidade da água durante o período experimental.

Tratamento	O.D. (mg/L)		T (°C)		pH	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
T1	8.07	7.31	23.99	27.91	7.57	7.61
T2	8.01	7.31	24.02	28.07	7.59	7.64
T3	8.02	7.37	23.96	27.84	7.59	7.62

O.D.: Oxigênio dissolvido.

T1: Tratamento 1- larvas de dourado alimentadas por LF1,

T2: Tratamento 2- alimentados por LF1 e LF2,

T3: Tratamento 3- alimentados por LF1, LF2 e LF3.

Para as análises estatísticas dos dados utilizaram-se testes de normalidade (Kolmogorov-Smirnov), seguidos de análise de Variância Unifatorial (ANOVA I) quando as condições de normalidade e homoscedasticidade foram satisfeitas. Foi utilizado o teste *a posteriori* Tukey para comparação de médias, ao nível de 5% de significância. A análise de variância não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis foi aplicada no caso de dados que não satisfizeram as condições de normalidade e homoscedasticidade. A hipótese nula foi rejeitada com $p < 0,05$ (Zar, 1999).

II.5. RESULTADOS

II.5.1. Desenvolvimento larval, sobrevivência, mortalidade e canibalismo

As larvas de dourado no 1º dia após eclosão (DAE) eram transparentes, algumas apresentavam o saco vitelínico totalmente absorvido e a boca completamente aberta. A cabeça apresentava cromatóforos dendríticos e os olhos pouco pigmentados. As larvas nadavam em sentido vertical na coluna da água com movimentos constantes da mandíbula (abrindo e fechando). A mandíbula inferior é ligeiramente maior que a superior e possui dentes pontiagudos. Durante todo o período experimental foi observado canibalismo completo ou o chamado canibalismo de tipo II (predador consegue engolir a presa totalmente).

Comparando-se os parâmetros sobrevivência, canibalismo e mortalidade para os diferentes tratamentos em cada uma das fases experimentais, não foram evidenciadas diferenças estatisticamente significativas, com exceção da fase 3, quando foram observadas maiores taxas de mortalidade no tratamento 3 e o tratamento 2 apresentou uma maior taxa de canibalismo.

Na fase I, a taxa de sobrevivência para os tratamentos 1 (T1), 2 (T2) e 3 (T3) foram de 85,8% \pm 8,8 % (média \pm desvio padrão), 94,2% \pm 4,2% e 96,7% \pm 4,7%, respectivamente, não havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). A taxa de mortalidade para os três tratamentos foi de 0,0 %. As taxas de canibalismo foram de 14,2% \pm 8,8% (média \pm desvio padrão) para T1, 5,8% \pm 4,2% para T2 e 3,3% \pm 4,7% para T3, não havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$) (Figura 1).

Na fase II, as taxas de sobrevivência para T1, T2 e T3 foram de 79,2% \pm 4,2% (média \pm desvio padrão), 87,5% \pm 7,4% e 94,8% \pm 6,0%, respectivamente, não havendo diferença significativa

entre os tratamentos ($p > 0,05$). As taxas de mortalidade para foram de 0,0% para T1 e T2, e $0,9\% \pm 1,9\%$ para T3, não havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). As taxas de canibalismo para T1, T2 e T3 foram de $10,4\% \pm 1,9\%$, $7,1\% \pm 5,1\%$ e $4,3\% \pm 6,5\%$, respectivamente, não havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). (Figura 1).

Na fase III, as taxas de sobrevivência para T1, T2 e T3 foram de $86,9\% \pm 18,3\%$, $47,7\% \pm 41,3\%$ e $62,4\% \pm 40,0\%$, respectivamente, não havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). As taxas de mortalidade para T1, T2 e T3 foram de $1,0\% \pm 2,0\%$, $9,4\% \pm 4,5\%$ e $34,4\% \pm 42,1\%$, respectivamente, havendo diferença significativa entre T1 e T3 (ANOVA I; $p = 0,01$; seguida de teste de Tukey; $p < 0,05$). As taxas de canibalismo foram de $12,1\% \pm 16,3\%$ para T1, $42,9\% \pm 39,8\%$ para T2 e $3,0\% \pm 6,0\%$ para T3, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Em termos globais, ou seja, calculando-se as taxas de canibalismo e sobrevivência com base no número de dourados no início e no final da fase 3 do período experimental a taxa de canibalismo foi maior em T2 ($49,2\% \pm 0,4$) e menor em T3 ($8,3\% \pm 0,1$), mas não se registrou diferença significativa entre os três tratamentos ($p > 0,05$). A sobrevivência final foi maior em T1 com $70,83\% \pm 0,14$, seguido pelo T3 com $58,3\%$ e T2 com $42,5\%$ ($p > 0,05$).

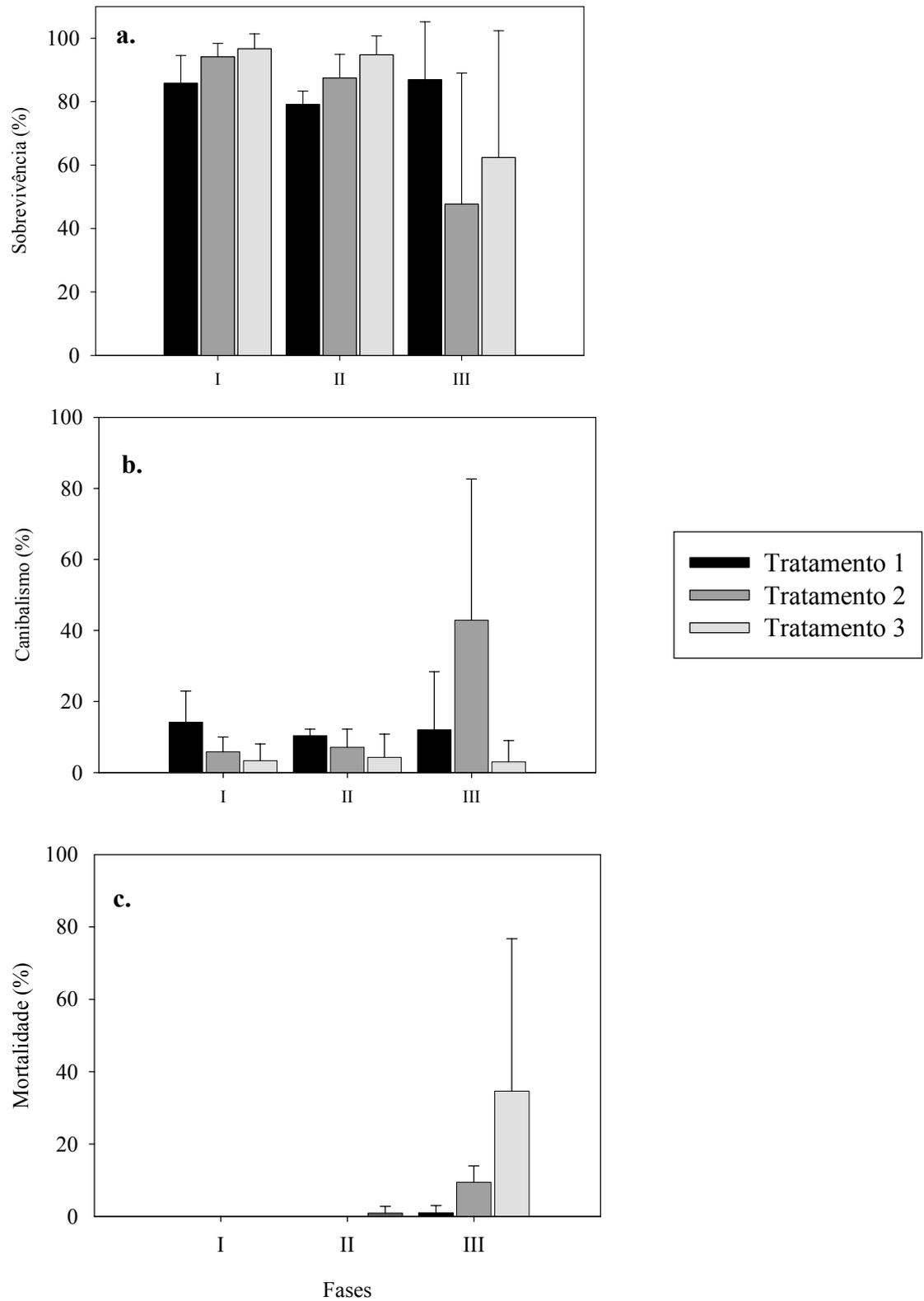


Figura 1. Porcentagem de (a.) sobrevivência, (b.) canibalismo e (c.) mortalidade das larvas de dourados nas três fases do período experimental com quatro réplicas para cada tratamento (média \pm desvio padrão).

II.5.2. Crescimento em comprimento e peso e heterogeneidade de tamanhos

Ao final de todo o período experimental o comprimento total e peso total dos dourados foi maior em T1 quando comparado com T2 e T3 (ANOVA; $p < 0,001$; seguido de Tukey, $p < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Crescimento em comprimento total e peso de larvas de dourados tratados com diferentes tamanhos de curimba.

Tratamento	Comprimento (mm) (média \pm desvio padrão)	Peso (mg) (média \pm desvio padrão)
T1	23,69 \pm 1,73 ^a	91,0 \pm 22,67 ^a
T2	21,48 \pm 2,36 ^b	69,01 \pm 26,10 ^b
T3	21,72 \pm 1,89 ^b	67,59 \pm 18,77 ^b

T1: Tratamento 1- larvas de dourado alimentadas por LF1,

T2: Tratamento 2- alimentados por LF1 e LF2,

T3: Tratamento 3- alimentados por LF1, LF2 e LF3.

a, b : letras diferentes indicam diferença significativa entre os grupos (ANOVA $p < 0,001$; seguida de teste de Tukey)

Ao final do período experimental, os dourados do tratamento T2 apresentaram maior heterogeneidade de tamanhos com base no comprimento total e no peso total quando comparados com as larvas de dourado dos tratamentos T1 e T3 (Figura 2).

Em T1, o comprimento total dos dourados ao final do período experimental variou de 19 mm a 27,7 mm (amplitude de 9 mm), em T2 o comprimento total variou entre 16,6 mm e 28,2 mm (amplitude de 12 mm), e em T3 variou entre 17 mm e 25,3 mm (amplitude de 8 mm) (Figura 4). O peso final das larvas de dourado, ao final do período experimental, em T1 variou de 38mg a 153 mg (amplitude de 115mg), em T2 o peso final variou entre 32 mg a 162 mg (amplitude 130 mg), e em T3 variou entre 24 mg a 120 mg (amplitude de 92 mg).

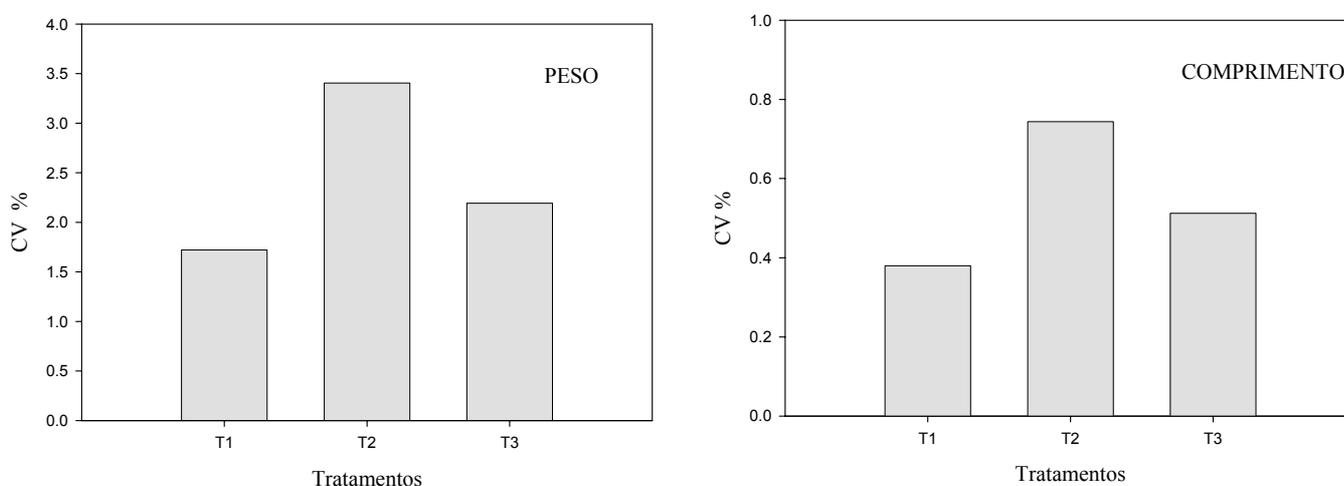


Figura 2. Variação do peso e comprimento das larvas de dourado tratadas com diferentes tamanhos de presa no final do período experimental.

II.5.3. Consumo de presas de diferentes tamanhos por larva de dourado

Na fase I, o número de presas consumidas por larva de dourado variaram entre 5,2 larvas de curimba/dourado para T1, de 4,5 larvas de curimba/dourado para o T2 e de 3,2 larvas de curimba/dourado para T3, não sendo detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$). Na fase II, o número de presas consumidas por larva de dourado variou entre 11,5 larvas de curimba/dourado para T1, de 11,05 larvas de curimba/dourado para T2 e 9,8 larvas de curimba/dourado para T3, não sendo detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$). Na fase III, o número de presas consumidas por larva de dourado variou entre 41 larvas de curimba/dourado para T1, 27 larvas de curimba/dourado para T2 e 15,5 larvas de curimba/dourado para T3, sendo estes valores estatisticamente diferentes entre si (ANOVA I, $p < 0,05$; seguido de teste Tukey, $p < 0,05$) (Tabela 4).

A biomassa de curimba ingerida por larva de dourado foi calculada com base no número de curimbas consumidos multiplicado pelo peso dos curimbas oferecidos, para cada tamanho.

Na fase I, as larvas de dourado ingeriram uma biomassa média de 5,74 mg por larva de dourado no T1, 5,34 mg por larva de dourado no T2 e 3,76 mg por larva de dourado no T3, não sendo registrada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). Na fase II, as larvas de dourado ingeriram uma biomassa média de 13,14 mg por larva de dourado para T1, 34,77 mg por larva de dourado para T2, e 31,88 mg por larva de dourado para T3; havendo diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos T1 em relação a T2 e T3 (ANOVA I, $p > 0,05$; seguido de teste Tukey, $p < 0,05$) (Tabela 6). Na fase III foi observada diferença estatística entre os tratamentos (ANOVA I, $p > 0,05$; seguido de teste Tukey, $p < 0,05$) (Tabela 6) sendo que as larvas de dourado ingeriram 44,20 mg por larva para T1, 70,51 mg por larva em T2, e 91,14 mg por larva em T3.

Tabela 4. Numero de presas consumidas e massa de ingerida (mg) por larva de dourado em cada uma das fases do período experimental.

Fases	Tratamento	Nº de presa consumida / Larva de dourado (média ± desvio padrão)	Massa ingerida (mg) / Larva de dourado (média ± desvio padrão)
I	T1	5,23 ± 1,18	5,74 ± 1,72
I	T2	4,46 ± 1,48	5,34 ± 1,88
I	T3	3,23 ± 0,64	3,76 ± 0,80
II	T1	11,57 ± 0,68	13,14 ± 0,78 ^a
II	T2	11,05 ± 2,17	34,77 ± 5,12 ^b
II	T3	9,88 ± 1,17	31,88 ± 3,13 ^b
III	T1	41,43 ± 8,46 ^a	44,20 ± 3,14 ^a
III	T2	27,10 ± 2,42 ^b	70,51 ± 8,49 ^b
III	T3	15,53 ± 2,41 ^c	91,14 ± 10,79 ^c

T1: Tratamento 1- larvas de dourado alimentadas por LF1,

T2: Tratamento 2- larvas de dourado alimentadas por LF1 e LF2,

T3: Tratamento 3- larvas de dourado alimentados por LF1, LF2 e LF3.

a,b,c: letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas (ANOVA I seguida de teste Tukey, $p < 0,05$).

O consumo total de larvas de curimba por larva de dourado no final do período experimental foi $49,8 \pm 1,5$ em T1 (média \pm desvio padrão), $35,0 \pm 1,8$ em T2, e $25,5 \pm 1,0$ em T3, sendo a diferença entre estas médias estatisticamente significativa ($p < 0,05$). (Figura 3). A biomassa total ingerida no final do experimento por larva de dourado foi $63,08 \pm 1,19$ mg em T1 (média \pm desvio padrão), $110,6 \pm 3,31$ mg em T2 e $126 \pm 5,22$ mg em T3 (Figura 4).

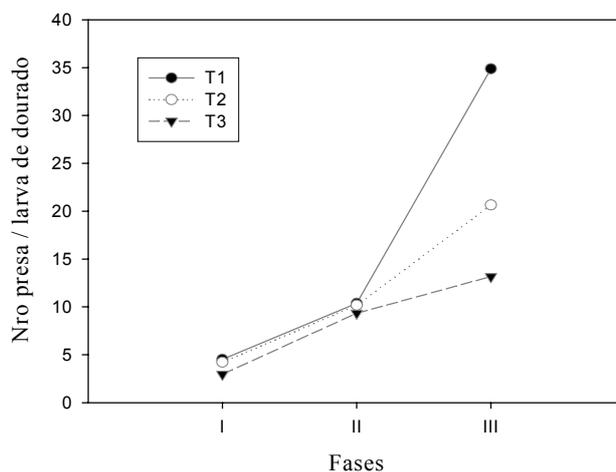


Figura 3. Consumo de larvas forrageiras em número de curimba por cada larvas de dourado nas três fases do experimento.

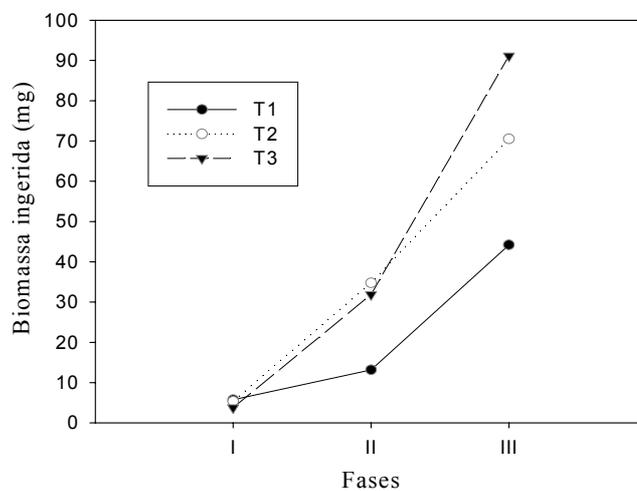


Figura 4. Biomassa ingerida (mg) de curimba por cada larvas de dourado nas três fases do experimento.

II.6. DISCUSSÃO

Na fase III do período experimental, quando as larvas de dourado encontravam-se numa idade entre o 7º e 9º DAE, foram detectadas algumas diferenças entre os tratamentos. A mortalidade foi maior em T3, que envolve presas de maior tamanho (LF3) do que nos outros tratamentos (ANOVA I, $p < 0,05$), e o canibalismo em T2, que envolve presas de tamanho intermediário (LF2), tendeu a ser maior que nos outros tratamentos.

Entretanto, com exceção das situações acima, os resultados obtidos indicaram uma ausência de efeitos do tamanho das presas representadas por larvas de curimba *Prochilodus lineatus* nas

taxas de sobrevivência, canibalismo e mortalidade durante os primeiros nove dias de larvicultura do dourado *Salminus brasiliensis*.

A sobrevivência nas fases I e II se manteve acima de 80% para todos os tratamentos. Nesta fase relacionada aos três primeiros dias após eclosão, as larvas de dourado provavelmente não têm os órgãos totalmente desenvolvidos. A ausência de diferenças entre os tratamentos para estes parâmetros na fase I era de fato esperada, uma vez que nesta fase todas as réplicas de todos os tratamentos foram idênticas. Trabalhos relacionados à alimentação de larvas de peixes concluíram que a alimentação depende em parte da maturação do sistema sensorial (Blaxter 1986) e locomotor (Webb e Weihs, 1986). Blaxter (1986) e Nakatani (2001) fazendo uma revisão sobre ovos e larvas de peixes, comentam que, após a eclosão, as larvas de peixes apresentam-se normalmente pouco pigmentadas, sendo o grau de pigmentação dos olhos muito variável. Ceccarelli (2002) verificou no dourado *Salminus maxillosus* (sinônimo de *Salminus brasiliensis*) com 23 horas após a eclosão as larvas apresentam olhos pigmentados, o que seria característico de peixes que têm maiores facilidades em direcionar visualmente o ataque às presas. Nas observações realizadas neste trabalho foi encontrado que após 24 horas a eclosão as larvas apresentaram olhos pouco pigmentados, e a visão ainda não é funcional. Na fase I e II o canibalismo foi menor do que 10 % e não foi registrada mortalidade nos três tratamentos.

No começo da fase III, no 7º DAE, a sobrevivência das larvas de dourado alimentadas com presas de tamanho intermediário e maior diminuiu comparado com as alimentadas com presas pequenas que mantiveram uma sobrevivência constante, acima de 70%, durante todo o período experimental. Além disso, o canibalismo em larvas de dourado tratados com presas de menor tamanho se manteve constante durante todo o período experimental, e abaixo de 15%. As larvas de dourado alimentadas com presas de tamanho intermediário apresentaram uma taxa média de canibalismo maior do que 40%, e uma mortalidade menor do que 10%. Altos níveis de canibalismo também foram detectados em juvenis do peixe *Channa* com heterogeneidade de tamanho exposto a períodos prolongados. Sabe-se que, para limitar o canibalismo, devem ser mantidas as menores diferenças na distribuição de tamanhos possíveis (Qin e Fast, 1996). As maiores variações de tamanho detectadas entre os dourados alimentados com presas de tamanho intermediário podem ter causado o aumento do canibalismo. Enquanto que o canibalismo das larvas de dourado tratadas com presas de maior tamanho se manteve menor do que 10 %, mas a mortalidade atingiu mais de 30%. Observou-se durante o fornecimento de presas de tamanho maior que os dourados eram capazes de consumir presas até pouco maiores que a abertura da sua boca, isto é possível devido à depressão excepcional da sua mandíbula inferior. Hseu et al.(2004) determinaram que peixes predadores que apresentam canibalismo tipo II somente poderiam ter sucesso na captura de presas quando a abertura da boca do predador fosse igual ou excedesse ao tamanho da presa. A maioria dos peixes predadores come sua presa totalmente, e isto abrange desde um tamanho de presa pequena no limite mais baixo da detecção visual, ou que são fisicamente pequenas para serem retidas nas brânquias até as presas que são demasiado grandes e não passam na abertura das mandíbulas. Qin e Hillier (2000) sugeriram que o tamanho do alimento vivo oferecido para larvas de peixes pode ser determinado pela morfologia da boca nos diferentes estágios de desenvolvimento. No experimento

pode ter acontecido que as larvas de dourado, embora sejam capazes de engolir presas de tamanho maior, não foi o suficiente para ter uma captura contínua o que causou um aumento da mortalidade por inanição ou canibalismo tipo I (canibalismo incompleto ou consumo parcial da presa). Gaughan e Potter (1997) observaram que no comportamento alimentar de larvas de peixes, a largura da boca teve uma influência pequena no tamanho da presa consumida e as diferenças encontradas nos padrões de alimentação entre larvas estudadas referiam-se às diferenças próprias de comportamento. Outros estudos observaram que o tamanho máximo da presa para peixes predadores está abaixo dos limites da abertura da boca e sugeriram que os comportamentos evasivos da presa e as diferenças na disponibilidade destas poderiam limitar o consumo de presas maiores (Hambricht, 1991; Keeley e Grant, 1997), isto pode explicar o resultados obtidos no maior consumo em presas de menor tamanho. Resultados em condições experimentais de laboratório têm mostrado a seletividade alimentar por presas menores em *Brycon moorei* (Baras et al., 2000) e walleye pollock (Sogard e Olla, 1994), ao parecer relacionado com a facilidade de captura e um menor gasto durante a perseguição. Embora, neste trabalho as larvas de dourado não foram expostas aos diferentes tamanhos simultaneamente, em cada tratamento foi possível observar que o estágio de desenvolvimento das presas esteve intimamente relacionado aos respectivos tamanhos, o que influenciou o maior consumo em presas de menor tamanho comparado com presas de maior tamanho.

As larvas de curimba oferecidas como presa apresentaram diferentes tamanhos e se encontraram em períodos de desenvolvimento diferentes, é possível que elas tenham desenvolvido estratégias diferentes de comportamento antipredador. A capacidade de desenvolvimento locomotor e comportamento antipredador são discutidos amplamente por Fuiman e Magurran (1994). Durante o desenvolvimento, o comportamento de larvas de peixes mudam, devido a mudanças morfológicas no corpo (nadadeiras, músculos, ossos, nervos) o que leva também a mudanças hidrodinâmicas como resultado do aumento do tamanho (Webb e Weihs, 1986; Fuiman e Webb, 1988), e possivelmente devido à demanda respiratória e nutricional (Blaxter 1986). Uma efetiva resposta de fuga da presa contra estímulos predatórios requer uma conexão rápida e funcional entre o sistema locomotor e sensorial, além de musculatura e área de propulsão adequada para gerar um grande impulso (Fuiman e Magurran, 1994). Foi observado durante o período experimental que o comportamento de natação dos diferentes tamanhos de larva forrageira era diferente. As larvas de curimba de menor tamanho navegavam em direção vertical e muito pouco em sentido horizontal. Na maioria das vezes elas nadavam até a superfície e depois caíam até o fundo dos aquários. Já o comportamento de natação das presas de maior tamanho, era horizontal e os curimbas ficavam navegando por todo o aquário.

As larvas de dourado eram em geral capazes de capturar e engolir o maior tamanho de presa fornecida. Entretanto, é possível que o tamanho de parte dos dourados em T3 na fase III estivesse muito próximo ou abaixo do tamanho máximo necessário para que eles fossem capazes de capturar e reter as presas. Além disso, as presas maiores estavam num estágio de desenvolvimento mais avançado, e a sua captura foi relativamente mais difícil quando comparada com presas de tamanho intermediário e pequeno; pois a probabilidade de escape da presa provavelmente aumentou com o tamanho (Nilsson e Brönmark, 2000). Estas limitações relacionadas ao maior tamanho de presa

capturável e a menor vulnerabilidade de captura poderiam explicar o aumento significativo da taxa de mortalidade das larvas de dourado de T3 que podem ter morrido pela dificuldade de se alimentar adequadamente.

Foi constatado um maior crescimento em comprimento total e peso total final em T1, onde as larvas de dourado consumiram exclusivamente presas de menor tamanho, quando comparado com T2 e T3 ($p < 0,05$). Adicionalmente, não foram detectadas diferenças no crescimento entre T2 e T3, uma vez que a diferença entre o comprimento total e peso total final em T2 e T3 não foi estatisticamente significativa.

O consumo de larvas forrageiras de tamanho pequeno em T1 foi aumentando nas diferentes fases do período experimental, conforme as larvas de dourado se desenvolviam e aumentavam suas necessidades energéticas. Na fase III o consumo em número de presas pequenas por larva de dourado em T1 foi maior que o número de presas de tamanho intermediário consumidas por larvas de dourado em T2, que por sua vez foi maior que o consumo de presas grandes por larvas de dourado em T3. Um dos possíveis fatores envolvidos nessas diferenças está provavelmente relacionado à vulnerabilidade das presas em questão. Observações feitas durante os experimentos evidenciaram que as presas de menor tamanho, no início da alimentação exógena, eram mais fáceis de serem capturadas. Conforme se aumentou o tamanho das presas oferecidas em T2 e T3, foram feitas observações relacionadas ao modo de natação das presas que indicaram uma diminuição da vulnerabilidade dos curimbas conforme o seu tamanho aumentava, o que é coerente com estudos específicos que correlacionaram a probabilidade de escape de presas com o seu tamanho (Nilsson e Brönmark, 2000).

Outro fator que deve estar relacionado ao fato das larvas de dourado terem capturado um maior número de presas de menor tamanho é o tempo de manipulação, ou tempo que o peixe predador gasta em lidar com a presa antes de ingeri-la totalmente. O tempo de manipulação aumenta exponencialmente com o aumento do tamanho da presa (Gill, 2003). Foram feitas algumas observações quantitativas sobre o tempo de manipulação (tempo decorrido entre o ataque à presa e a sua ingestão completa) das presas de diferente tamanho por dourados que estavam entre o 7º e o 9º DAE. Enquanto que os dourados capturavam e ingeriam completamente as presas de tamanho pequeno em 4 segundos, o tempo de manipulação de presas de tamanho grande foi em média de 4 min. Não foram feitas observações com relação a diferenças no tempo de digestão destas presas de diferente tamanho, mas é razoável supor que o tempo de digestão também aumente com o aumento do tamanho das presas. Estes aspectos provavelmente influenciaram o menor consumo de presas de tamanho intermediário e grande por parte dos dourados especialmente na fase III do período experimental.

Um alimento adequado para larvas de peixes deve ter como características ideais uma elevada digestibilidade e um elevado valor nutricional. A contribuição do alimento vivo aos processos digestivos em larvas de peixes pode ser afetada pelo estado, pela idade, pela fonte e pelo valor nutritivos de organismos, assim como o tipo de processamento ao qual aqueles organismos são submetidos antes que estejam oferecidos às larvas de peixes (Verga e Bohm 1992; Barnabé e Guissi,

1994). Evangelista et al. (2005) observou a eficiência de alimentos vivos difere substancialmente entre tipos de presas na primeira alimentação de larvas de *Clarias macrocephalus*. As larvas alimentadas com *Tubifex sp* tiveram um maior peso específico (15,0%), seguidas das larvas alimentadas com *Artemia* (14,5%), com *Moina macrocopa* (14,4%), *Chironomus plumosu* (12%). A disponibilidade de energia foi maior para o crescimento de larvas de *Clarias* alimentadas com *Tubifex* devido à fácil captura e o mínimo gasto de energia na procura de alimento, quando comparado com os outros itens oferecidos.

No experimento houve um maior crescimento dos dourados em comprimento total e peso total final em T1 quando comparado com T2 e T3. Em termos de número de presas ingeridas por larva de dourado, também foi determinado que os dourados de T1 consumiram em número uma quantidade significativamente maior de presas pequenas do que o total de presas ingeridas em T2 ou T3 por larva de dourado. Entretanto, ao se calcular a biomassa de larvas de curimba ingerida por larva de dourado nos três tratamentos verificou-se que em T3 foi ingerida uma maior biomassa de curimbas por larva de dourado ao final do período experimental (126 mg \pm 5,22), seguida do T2 (110,6 mg \pm 3,31) e T1 (63,08 mg \pm 1,19). Em termos energéticos, se assumirmos que as presas LF1, LF2 e LF3 apresentam o mesmo teor calórico ou energético por unidade de biomassa, os dourados do T1 teriam ingerido aproximadamente metade da energia ingerida pelos dourados em T3 e T2. Uma vez que o crescimento em T1 foi significativamente maior que nos outros dois tratamentos, T2 e T3, uma possível explicação para estes dados estaria relacionada a um maior gasto energético das larvas de dourado em T2 e T3 comparado com T1. Desta forma, em T2 e T3 restaria uma menor quantidade da energia ingerida disponível para o crescimento dos dourados. Na primeira alimentação em larvas de peixes, uma elevada taxa de sucesso de captura proporciona uma despesa mínima de energia na busca de alimento e conseqüentemente, a disponibilidade de mais energia para o crescimento (Mookerji e Rao, 1995). A maior vulnerabilidade das presas de menor tamanho pode ter desta forma proporcionado uma maior quantidade de energia disponível para o crescimento em T1 com relação a T2 e T3.

Em um estudo com juvenis de *Salvelinus alpinus* (Amundsen et al., 1995) observou a preferência pela captura de presas menores, pelo fato de que a maior energia gasta na perseguição mais o tempo de manipulação de uma presa grande excederia o benefício ganho do conteúdo de energia elevada da presa maior. Outros autores também mencionaram situações em que mesmo que presas de maior tamanho sejam presa potencial, os predadores tendem para os tamanhos menores de presa (Hecht e Appelbaum, 1988; Brabrand, 1995; Baras, 1999). Estes aspectos podem estar envolvidos nos resultados encontrados neste estudo.

Diferenças no teor energético e/ou nutricional nas presas representadas pelas larvas LF1, LF2 e LF3 também podem ser outro fator que podem ter contribuído para o maior crescimento em T1, apesar da menor ingestão de biomassa total no período experimental. A biomassa total ingerida média de LF3 e LF2 foi aproximadamente 6 e 3 vezes maior que a biomassa de LF1, e é possível que a quantidade de tecidos de maior teor energético por unidade de biomassa seja maior em LF1, já que

muitas presas de tamanho pequeno ainda apresentavam parte do saco vitelínico, o que pode ter proporcionado constituintes nutricionais mais ricos e mais facilmente digeríveis pelos dourados.

Um outro fator a considerar é o gasto metabólico associado à digestão do alimento, ou efeito dinâmico específico (Jobling, 1981). O efeito dinâmico específico envolve um aumento no metabolismo dos peixes que aumenta com o tamanho da refeição ingerida, e este aumento dos gastos metabólicos com a digestão pode inclusive ser exponencial. Deste modo, a ingestão de presas de maior tamanho em T2 e T3 também pode ter ocasionado um gasto energético do tipo mencionado acima significativamente maior que em T1.

A capacidade digestiva do organismo, que determina os tipos de nutrientes de serem absorvidos, é determinada pelo desenvolvimento de suas enzimas digestivas (Dabrowski, 1989; Vega-Villasante et al., 1995; Lazo, 2000). Com relação ao desenvolvimento do sistema digestivo das larvas de dourado (Vega-Orellana et al, 2006) observou que as larvas de dourado de 12 horas após a eclosão possuem capacidade potencial para digerir proteínas apesar de não ingerirem alimento nesta fase. Mas que existe um aumento significativo da atividade proteásica no 7º DAE, sendo que as larvas poderiam aceitar ração desde o 5º DAE, e é exatamente nesta fase em que a capacidade das larvas de dourado de digerir proteínas está se estabelecendo. Foi nesta fase (III) que se salientaram diferença entre os tratamentos em termos de número e biomassa ingerida das diferentes presas oferecidas.

Quanto que maior a superfície de contato do alimento sendo digerido por estas proteases mais eficientemente este alimento será digerido e mais energia será assimilada e utilizada no crescimento e outros processos. Neste caso, é razoável supor que as larvas de curimba de menor tamanho LF1 tenham tido uma maior superfície relativa de contato com as enzimas digestivas no trato intestinal dos dourados, o que possibilitaria uma maior eficiência de assimilação da energia ingerida em T1 comparada com T2 e T3.

II. 7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta primeira etapa do trabalho, podemos concluir:

- Os diferentes tamanhos de presa não tiveram uma influencia estatisticamente significativa na taxa de canibalismo nas larvas de dourado.
- A oferta de presas de tamanho intermediário resultou em uma heterogeneidade de tamanhos das larvas de dourado no final do experimento, e a oferta de larvas de curimba de maior tamanho tendeu a aumentar a taxa de mortalidade dos dourados.
- O fornecimento de presas de menor tamanho durante os primeiros nove dias do estágio larval do dourado *S. brasiliensis* é recomendado para se obter um melhor crescimento, sobrevivência e uma taxa de canibalismo relativamente menor.

II.8. BIBLIOGRAFIA

- Amundsen P.-A., Damsgård B, Arnesen A.M., Jobling M., Jørgensen E.H. 1995. Experimental evidence of cannibalism and prey specialization in arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Environmental Biology of Fishes* 43(3):285-93.
- Appelbaum S., Kamler E. 2000. Survival, growth, metabolism and behaviour of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) early stages under different light conditions. *Aquacultural Engineering* 22(4):269-87.
- Atencio-García V. J. 2000. Influencia da primeira alimentação na alevinagem do yamú *Brycon siebenthalae* (Eiganmann, 1912). Dissertação: Mestrado em Aqüicultura. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Baras, E. 1999. Sibling cannibalism among juvenile vundu under controlled conditions. I Cannibalistic behaviour, prey selection and prey size selectivity. *Journal of Fish Biology*, 54, 82-105.
- Baras E., Jobling M. 2002. Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquaculture Research* 33 (7):461-79.
- Baras E, Maxi M.Y.J, Ndao M., Melard C. 2000. Sibling cannibalism in dorada under experimental conditions. I: Effect of initial size heterogeneity, diet and light regime on early cannibalism. *Journal of Fish Biology* 57(4):1021-36.
- Baras E., Tissier F., Westerloppe L.U.C., Melard C., Philippart J.C. 1998. Feeding in darkness alleviates density-dependent growth of juvenile vundu catfish *Heterobranchus longifilis* (clariidae). *Aquatic Living Resources* 11(5):335-40.
- Barnabé G., Guissi A. 1994. Adaptations of the feeding behaviour of larvae of the sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.) to an alternating live-food/compound-food feeding regime. *Aquaculture*, 25, 537-546.
- Blaxter, J. H. S. 1986. Development of sense-organs and behavior of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115, (1):98-114.
- Boeuf G., Le Bail P.-Y. 1999. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture* 177: 129-152.
- Brabrand, A. 1995. Intra-cohort cannibalism among larval stages of perch (*Perca fluviatilis*). *Ecology of Freshwater Fish* 4: 70-76.
- Breck J. E., Gitter M. J. 1983. Effects of fish size on reactive distance of bluegill (*Lepomis macrochirus*) sunfish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 162-167.
- Castagnolli, N. 1992. *Criação de Peixes de água doce*. Jaboticabal. FUNEP.
- Ceccarelli, P. S. 1997. Canibalismo em larvas de matrinxã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869). Dissertação: Mestrado. Universidade Estadual Paulista.
- Ceccarelli, P. S. 2002. Canibalismo em larvas de dourado, *Salminus maxillosus* (Valenciennes, 1849). Tese: Doutorado em Ciências Biológicas. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- Christensen, B. 1996. Predator foraging capabilities and prey antipredator behaviours: Pre- versus post-capture constraints on size-dependent predator-prey interactions. *Oikos*, 76, (2):368-380.
- Dabrowski K. 1989. Ontogenetic changes in the fish larval gut. Eds.: Harvey B, Carolsfeld J, In. ENCONTRO DE LARVICULTURA. Pirassununga. Canadian International Development Agency (ICSU).

- Dabrowski, K. R., Bardega, R. 1984. Mouth size and predicted food size preferences of larvae of three cyprinid fish species. *Aquaculture*, 40, 41-46.
- Dou S., Seikai T., Tsukamoto K. 2000. Cannibalism in Japanese flounder juveniles, *Paralichthys olivaceus*, reared under controlled conditions. *Aquaculture* 182(1-2):149-59.
- Evangelista A.D., Fortes N.R., Santiago C.B. 2005. Comparison of some live organisms and artificial diet as feed for Asian catfish *Clarias macrocephalus* (Gunther) larvae. *Journal of Applied Ichthyology* 21(5):437-43.
- Folkvord A, Ottera H. 1993. Effects of initial size distribution, day length, and feeding frequency on growth, survival, and cannibalism in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture* 114(1-4):243-60.
- Fuiman L.A., Magurran A.E. 1994. Development of predator defenses in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 4(2):145-83.
- Fuiman L.A., Webb, P. W. 1988. Ontogeny of routine swimming activity and performance in *Zebra danios* (Teleostei: Cyprinidae). *Anim Behav*, 36, 250-261.
- Gaughan D., Potter I. 1997. Analysis of diet and feeding strategies within an assemblage of estuarine larval fish and an objective assessment of dietary niche overlap. *Fishery Bulletin* 95(4):722-31.
- Gill, A.B. 2003. The dynamics of prey choice in fish: the importance of prey size and satiation. *Journal of Fish Biology* 63(1):105-16.
- Grechay P. A., Targett T. E. 1996. Effects of turbidity light level and prey concentration on feeding of juvenile weakfish, *Cynoscion regalis*. *Marine Ecology Progress Series*, 131, 11-16.
- Hambright, K.D. 1991. Experimental analysis of prey selection by largemouth bass: role of predator mouth width and prey body depth. *Transactions of the American Fisheries Society* 120:500-508.
- Hecht T, Appelbaum S. 1988. Observations on intraspecific aggression and coeval sibling cannibalism by larval and juvenile *Clarias gariepinus* (Clariidae: Pisces) under controlled conditions. *Journal of Zoology* 214(1):21-44.
- Hecht T., Pienaar A.G. 1993. A review of cannibalism and its implications in fish larviculture. *The Journal of the World Aquaculture Society* 24: 246–261.
- Hseu J.-R, Hwang P.-P., Ting Y.-Y. 2004. Morphometric model and laboratory analysis of intracohort cannibalism in giant grouper *Epinephelus lanceolatus* fry. *Fisheries Science* 70(3): 482-486.
- Hunter, J.R. 1975. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report. NMFS - Circular 395.
- Jobling, M. 1981. The influences of feeding on the metabolic rate of fishes: a short review. *Journal of Fish Biology*, 18: 385-400.
- Katavic I., Jug-dujakovic J., Glamuzina B. 1989. Cannibalism as a factor affecting the survival of intensively cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fingerlings. *Aquaculture* 77(2-3):135-43.
- Keeley ER, Grant JWA. 1997. Allometry of diet selectivity in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54 (8),1894-1902.
- Kestemont P., Jourdan S., Houbart M., Mélard C., Paspatisa M., Fontaine P., Cuvier A, Kentouria M, Baras E. 2003. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture*, 227, 333–356.
- Lazo J.P. 2000. Conocimiento actual y nuevas perspectivas en el desarrollo de dietas para larvas de peces marinos. In.: Cruz -Suárez LE, Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Olvera-Novoa M.A., Civera-

Cerecedo R. (eds). AVANCES EN NUTRICIÓN ACUÍCOLA V. MEMORIAS DEL V SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA. Mérida, Yucatán, Mexico.

Lehtiniemi, M. 2005. Swim or hide: predator cues cause species specific reactions in young fish larvae. *Journal of Fish Biology*, 66, 1285-1299.

Melard, C., Baras, E., Mary, L., Kestemont, P. 1996. Relationship between stocking density, growth, cannibalism and survival rate in intensively cultured larvae and juveniles of perch (*Perca fluviatilis*). *Annales Zoologici Fennici*, 33, 643-651.

Mookerji, N., Rao, T. R. 1995. Prey capture success, feeding frequency and daily food intake rates in rohu, *Labeo rohita* (Ham.) and singhi, *Heteropneustes fossilis* (Bloch) larvae. *Journal of Applied Ichthyology*, 11, 37-49.

Nakatani, K. 2001. *Ovos e Larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e material de identificação*. Maringá. EDUEM.

Nilsson P.A., Brönmark C. 2000. Prey vulnerability to a gape-size limited predator: behavioural and morphological impacts on northern pike piscivory. *Oikos* 88, 539-46.

Puvanendran, V., Brown, J. A. 1998. Effect of light intensity on the foraging and growth of Atlantic cod larvae: interpopulation difference? *Marine Ecology Progress Series*, 167, 207-214.

Qin, J., Fast, A. W. 1996. Size and feed dependent cannibalism with juvenile snakehead *Channa striatus*. *Aquaculture*, 144, (4),313-320.

Qin J.G., Hillier T. 2000. Live food and feeding ecology of larval snapper (*Pagrus auratus*), Ed.: McKinnon , Rimmer DM, Kolkovski S, In. Workshop proceeding: Hatchery feeds. The Fisheries Research Development Corporation. Cairns. pp 63-68.

Santos, A. F. G. N. dos, Santos, L. N. dos, Araújo, F. G., Santos, R. N. dos., Andrade, C. C. d., Silva, P. S., Alvarenga, R. J. d., Caetano, C. d. B. 2002. Mass-length relationship and condition factor of *Geophagus brasiliensis* in the Lajes reservoir, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Universitária Rural*, 22, (2),115-121.

Schütz, J. 2003. Avaliação de diferentes tipos de alimentos e fotoperíodos no crescimento e na sobrevivência de pós-larvas de dourado, *Salminus brasiliensis* (Pisces, Characidae). Dissertação de mestrado em Aquicultura. Universidade Federal de Santa Catarina.

Senhorini, J. A. 1999. Biologia larval do matrinxã *Brycon cephalus* (Gunter, 1869) e da piraicanjuba *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849) (Pisces, Characidae) em viveiros. Tese de Doutorado em Ciências Biológicas (Zoologia), Botucatu – SP. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP.101p.

Smith C., Reay P. 1991. Cannibalism in teleost fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 1(1), 41-64.

Sogard S.M., Olla B.L. 1994. The potential for intracohort cannibalism in age-0 walleye Pollock, *Theragra chalcogramma*, as determined under laboratory conditions. *Environmental Biology of Fishes* 39(2),183-90.

Turesson H., Persson A., Brönmark C. 2002. Prey size selection in piscivorous pikeperch *Stizostedion lucioperca* includes active prey choice. *Ecology of Freshwater Fish*, 11, 223-233.

Utne-Palm, A. C. 1999. The effect of prey mobility, prey contrast, turbidity and spectral composition on the reaction distance of *Gobiusculus flavescens* to the planktonic prey. *Journal of Fish Biology*, 54, 1244-1258.

Vega-Orellana O. M., Fracalossi D., Sugai J. 2006. Dourado (*Salminus brasiliensis*) larviculture: Weaning and ontogenetic development of digestive proteinases. *Aquaculture* 252, 484-493.

Vega-Villasante F., Nolasco H., Civera, R. 1995. Digestive enzymes of the pacific brown shrimp *Peneaus californiensis*. - II. Properties if protease activity in the whole digestive tract. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, 1,123-129.

Verga V., Bohm J. 1992. The effect of freeze-dried zooplankton as a dry feed additive for Danube salmon (*Hucho hucho* L.) fry. *Aquaculture*, 108,155-168.

Webb P. W., Weihs D. 1986. Functional Locomotor Morphology of Early Life History Stages of Fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115, 115-127.

Zaniboni Filho E., Barbosa N. D. C. 1996. Priming hormone administration to induce spawning of some Brazilian migratory fish. *Revista Brasileira de Biologia*, 56 (4),655-659.

Zar J.H., 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th edn. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA: 663pp.

III. CAPÍTULO 2: Ontogênese da visão e da habilidade para captura de presas no dourado *Salminus brasiliensis*.

Ontogeny of vision and prey capture ability in the dourado *Salminus brasiliensis*.

III.1. RESUMO

A visão tem um papel crucial nos primeiros estágios de vida da maioria dos peixes teleósteos, sendo que o desenvolvimento do olho e o estabelecimento da visão funcional são considerados essenciais para localização do alimento e para evitar o ataque de predadores. Os objetivos deste trabalho envolveram o levantamento de conhecimentos básicos sobre o desenvolvimento inicial da estrutura, função e relevância do sistema visual para a sobrevivência durante os primeiros dias de vida do dourado. Foi detalhado o processo de desenvolvimento inicial da acuidade visual do dourado *Salminus brasiliensis* através do teste da resposta optocinética e também com base na histologia da retina. A capacidade de visão noturna foi avaliada através do teste optomotor em condições controladas de iluminação. Também foi avaliada a eficiência de captura de larvas de curimba em diferentes níveis de intensidade luminosa. A acuidade visual de *S. brasiliensis* variou de um ângulo de 12 graus no segundo dia após a eclosão (2º DAE), e atingiu 2,5 graus no 12º DAE. Com base na histologia da retina e diâmetro da lente, a acuidade teórica oscilou entre 4,08 graus e 0,65 graus entre o 2º e o 12º. DAE, respectivamente. Baseado nos valores de acuidade visual comportamental foram calculadas as distâncias de reação, distâncias máxima que larvas de dourado podem estar distantes de uma presa de tamanho conhecido, e ainda assim detectá-la. Um dourado entre o 2º e o 12º DAE detecta uma presa representada por uma larva de curimba de 6,2 mm de comprimento à uma distância entre 40 mm e 140 mm, respectivamente. Foi proposta uma relação entre as densidades de dourados e presas de modo a igualar a possibilidade de detecção pelos dourados de presas ou de larvas irmãs, o que possivelmente minimizaria o canibalismo. Experimentos de eficiência de captura de presas por larvas de dourado em iluminâncias variando do escuro a níveis fotópicos demonstraram que a visão não é essencial para que larvas de dourado capturem presas e sobrevivam durante os primeiros dias de vida.

Palavras chaves: *Salminus brasiliensis*; acuidade visual, ontogêneses; eficiência de captura.

III.2. ABSTRACT

Vision is deemed essential for early life survival of most fish species. Eye development and establishment of visual function facilitate prey detection as well as predator evasion. This study focused on the basic knowledge on the development of structure, function and relevance of the visual system to *S. brasiliensis* larvae early life. Dourado larvae visual acuity was measured using the optomotor method, based on optomotor (swimming) and optokinetic (eye movement) responses, and acuity was also measured based on retinal histology. Behavioral acuity varied from 12 degrees on the 2nd day after hatch to 2,5 degrees on the 12th day after hatch. Theoretical acuity was 4 degrees on the 2nd day after hatch and 0.6 degrees on the 12th day after hatch. Night vision capability was evaluated using the same responses under controlled illuminance conditions. Reaction distances (RD) are maximum distances between dourado larvae and their prey that enable prey detection by the dourado larvae. RD to different sized prey were calculated based on the behavioral acuity, and dourado larvae between the 2nd and 12nd day after hatch detects a curimba larvae (prey) 6.2 mm in total length from 40 mm to 140 mm away, respectively. A relationship between densities of predator and prey during dourado larviculture that would equal possibility of detection of prey or sibling dourado larvae being culture was made. This approach could minimize cannibalism rates. Prey capture efficiency experiments performed at illuminance levels varying from darkness to photopic conditions indicated that vision is not essential for *S. brasiliensis* to catch prey and survive during early life.

Keywords: freshwater fish larvae, acuity visual, *Salminus brasiliensis*, capture efficiency.

III.3. INTRODUÇÃO

Existem poucos dados disponíveis sobre a capacidade sensorial de muitos peixes de grande importância comercial, conhecimento que poderia ser útil para um melhor manejo das atividades de cultivo.

Durante os primeiros estágios de desenvolvimento dos peixes, o estabelecimento de natação equilibrada após o enchimento da bexiga natatória é seguido de um aumento da atividade locomotora, concomitante com o refinamento das funções dos órgãos sensoriais. Nestes sentido, a visão tem um papel crucial nos primeiros estágios de vida da maioria de peixes teleósteos, sendo o período em que ocorre o desenvolvimento do olho e o estabelecimento de visão funcional essencial para a detecção do alimento (Gerking, 1994) e para evitar o ataque de predadores (Fuiman e Magurran, 1994).

Os olhos de peixes possuem uma complicada morfologia e organização neural retinal típica dos vertebrados. A retina possui um sistema de fotorreceptores adaptados para a visão diurna, os cones, e os bastonetes adaptados para a visão noturna. A maioria dos peixes não pode mudar o tamanho da pupila para adaptá-la a diferentes intensidades de luz direcionada à retina, pois as pupilas são geralmente fixas e abertas. Em muitos teleósteos, os bastonetes e cones são capazes de movimentos fotomecânicos para evitar a exposição dos bastonetes a maiores intensidades de luz. Sob iluminação mais intensa os bastonetes expandem-se e seus segmentos ficam protegidos pelo epitélio pigmentado, e os cones migram para o lado vítreo, passando a exercer suas funções fotorreceptoras. Em condições de escuro ou baixa intensidade de luz, os cones se expandem e os bastonetes migram para o lado vítreo, se tornando capazes de fotorrecepção em condições de iluminação reduzida.

No período da primeira alimentação, a diferenciação dos cones em geral está completa, e a visão dos peixes é funcional, apesar de limitada (Blaxter, 1986). Muitos teleósteos marinhos eclodem com um sistema visual rudimentar, com um só tipo de fotorreceptores, e durante o estágio larval pelágico a estrutura do olho experimenta rápidas mudanças complementando a estrutura dos fotorreceptores e a retina adquire estrutura semelhante ao estágio adulto (Powers e Raymond, 1990). Por exemplo, a falta de bastonetes na retina do “seabass” branco *Atractoscion nobilis* (Scianidae) na primeira alimentação sugere que a visão espacial e temporal para detecção de movimento é limitada, e o desenvolvimento deficiente do músculo retrator da lente indica que a acomodação não é possível (Margulies, 1989). Durante o estágio larval da maioria das espécies de peixes, antes e durante a primeira alimentação a acuidade visual está em seu nível mais baixo, e as larvas estão adaptadas para procura de alimento mais eficientemente sob luz intensa.

Em estágios posteriores, o aperfeiçoamento da capacidade de identificar a presença dos predadores é possível através da adição de fotorreceptores de tipo bastonetes para a visão noturna, assim como cones múltiplos para aumentar a sensibilidade ao contraste e ao movimento. Por exemplo, peixes que vivem em áreas oligotróficas de águas claras ou “azuis” possuem cones duplos, o quais são muito sensíveis aos comprimentos de onda mais curtos (próximos ao azul) em comparação com espécies encontradas em águas verdes ou eutróficas, com iluminação preponderante baseada em comprimentos de onda mais longos (Lythgoe et al., 1994).

A acuidade visual é definida como o ângulo mínimo que um estímulo projeta na retina e pode ser percebido. A capacidade visual dos peixes tem sido avaliada através do uso de métodos comportamentais, os quais tendem a estar intimamente relacionado ao desempenho das capacidades sensoriais do animal. A percepção visual tem componentes de resolução espacial (a capacidade para

discriminar detalhes) e resolução temporal (a capacidade de detectar movimento). O estudo de aspectos espaciais e temporais no sistema visual dos peixes pode ser baseado na avaliação da resposta optomotora, um comportamento instintivo apresentado pelos peixes em que eles nadam na mesma direção do movimento que faixas pretas e brancas movimentando-se dentro do seu campo de visão (Harden Jones, 1963). A acuidade visual também pode ser determinada com base na resposta optocinéticas, que também é um comportamento instintivo em que o movimento do olho varia conforme os peixes acompanham a direção do movimento das faixas mencionadas (Easter e Nicola, 1996). Além disso, a acuidade visual também pode ser determinada teoricamente com base em medidas histológicas no olho e parâmetros óticos relacionados à lente dos peixes (Pankhurst, 1994; Shand, 1994).

Tem sido demonstrado que a maioria das larvas de peixe passam por um rápido processo de melhora da acuidade visual nos primeiros estágios de desenvolvimento, logo após a sua eclosão (Carvalho et al., 2002; Neave et al., 1984).

O desenvolvimento inicial da acuidade visual e de outros parâmetros relacionados à capacidade visual do dourado é desconhecido, e este processo certamente influencia a aptidão das larvas e pós-larvas para localizar, capturar e ingerir presas. Santos e Godinho (2002) descreveram que o olho de larvas de dourado apresenta pigmentação inicial no primeiro dia após a eclosão, pigmentação da retina uniformemente distribuída no segundo dia após eclosão, uma completa pigmentação da camada de células epiteliais da retina no terceiro dia após eclosão. A capacidade visual destas larvas deve evoluir rapidamente nos primeiros dez dias após a eclosão, e o detalhe deste processo de desenvolvimento do sistema visual pode estar relacionado com a maior ou menor eficiência por parte das larvas de dourado em detectar e capturar presas de diferentes tamanhos.

As larvas de dourado se alimentam ao final das primeiras 24 horas após a eclosão, quando a estrutura do olho e retina ainda não está completa e a visão provavelmente não é funcional. Desta forma, outros sentidos podem estar sendo utilizados para localizar e capturar presas nestes primeiros dias de desenvolvimento, inclusive após o estabelecimento de visão funcional.

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar o desenvolvimento da acuidade visual e do limiar de visão noturna ou escotópica, durante a fase inicial de desenvolvimento ontogenético do dourado *Salminus brasiliensis*, pelo método optomotor, e caracterizar o desenvolvimento da estrutura da retina por métodos histológicos. Além disso, pretende-se avaliar se a visão é essencial para a sobrevivência de larvas de dourados nos estágios iniciais de desenvolvimento pela avaliação da capacidade de captura de presas em situação de escuro total, quando a visão não é funcional, e em diferentes intensidades de luz.

III.4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no mês de fevereiro de 2005 e entre dezembro de 2005 e março de 2006, no Laboratório de Biomarcadores de Contaminação Aquática e Imunoquímica - LABICAI, Departamento de Bioquímica da Universidade Federal de Santa Catarina. As larvas de dourado *S. brasiliensis* e curimba *Prochilodus lineatus* foram obtidas através de reprodução induzida, executada no Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD) ou nas instalações da Piscicultura Panamá, segundo procedimentos descritos em Zaniboni Filho e Barbosa (1996). As larvas foram

transportadas para o LABICAI, durante o primeiro dia após a eclosão (DAE), onde foram mantidas em aquários ou tanques plásticos de 100 litros numa densidade de até 2 larvas de dourado por litro. Os aquários e tanques foram mantidos em sistema de circulação semi-fechado com aeração contínua, tendo sido realizada uma troca de pelo menos 70% do volume total por dia. A qualidade da água foi avaliada periodicamente com base nos teores de amônia, nitritos, dureza e alcalinidade, e os valores se mantiveram dentro da faixa considerada ideal para cultivo. As larvas foram alimentadas com larvas forrageiras de curimba *P. lineatus* durante todo o período experimental, do primeiro dia até o 12º DAE.

III.4.1. Acuidade visual comportamental

Os testes de acuidade visual foram efetuados utilizando-se um sistema de avaliação da função visual em peixes adaptado de Carvalho et al. (2002) (Figura 1). Durante o teste de acuidade visual o peixe foi mantido no interior de uma câmara teste (tubo de vidro) com um diâmetro ligeiramente superior ao seu comprimento total do peixe. Ao redor desta câmara teste foram posicionados cilindros com padrões de listras pretas e brancas de diferentes larguras. Pequenos motores adaptados a um controlador de velocidade foram conectados a uma haste de metal que fez girar os cilindros com as faixas pretas e brancas ao redor da câmara teste onde se encontra o peixe. A iluminação no interior do sistema foi proporcionada por lâmpadas fluorescentes circulares de 22W tipo “luz do dia”. A iluminância foi quantificada em lux utilizando-se um fotômetro-radiômetro modelo IL1700 com um sensor de alta resolução SHD033 (International Light, Newburyport, Massachusetts, U.S.A.).

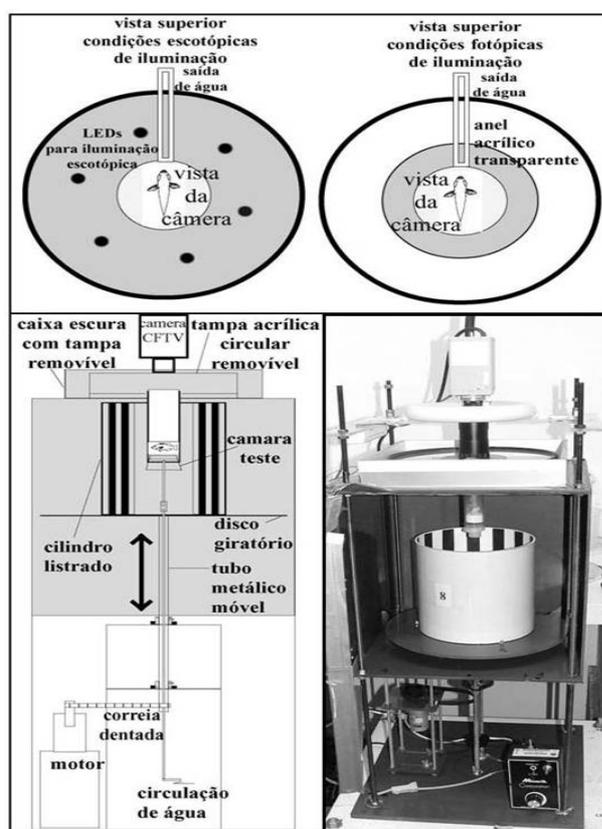


Figura 1. Diagrama do sistema de avaliação do desenvolvimento da visão (adaptado de Carvalho et al 2002)

Durante os testes, os peixes foram expostos a diferentes larguras de faixas pretas e brancas, que são movimentadas pelos motores ilustrados na Figura 1. A velocidade de rotação foi limitada a 5 rpm, para evitar que fosse atingido o limiar de fusão de imagens. A acuidade visual foi avaliada em uma iluminância aproximada de 100 lux, na faixa de visão definida como fotópica (visão diurna).

O ângulo de acuidade visual ou ângulo alfa (α) foi calculado pela fórmula:

$$\alpha \text{ (graus)} = 2 \arctan (0,5L / DR) * 180 / \pi, \text{ onde:}$$

L representa a largura da faixa teste e DR é a distância de reação ou distância da circunferência externa da câmara teste até a circunferência do cilindro onde se encontram as faixas pretas e brancas.

A resposta optocinética é analisada com base na alteração da direção do movimento dos olhos (resposta optocinética) conforme se altera a direção do movimento das faixas. A acuidade visual foi definida pelo padrão de faixas pretas e brancas com menor largura (L) para o qual seja detectada uma resposta positiva. A resposta positiva foi definida operacionalmente pela detecção de pelo menos quatro alterações claras de direção do movimento dos olhos a cada dez segundos em concordância com a mudança de direção das faixas. Foi utilizado um cronômetro regressivo com alarme para as contagens.

A partir da do ângulo de acuidade a distância máxima em que uma presa é detectável pode ser estimado, a partir da seguinte equação (Wanzenbock e Schiemer, 1989):

$$DR = 0,5 * p / \tan (\alpha / 2), \text{ onde:}$$

DR= a distância de reação (mm); p= tamanho da presa (mm); α = acuidade visual (graus).

A distância de reação é um parâmetro importante no cálculo da área de reação, ou seja, da seção transversal do campo visual nas direções horizontal e vertical de uma larva de peixe explorando o ambiente durante sua busca por presas. O calculo foi obtido aplicando a seguinte fórmula proposta por Blaxter e Staines (1971):

$$2/3 * \pi * (DR)^2, \text{ onde:}$$

$\pi = 3,14$, DR = distância de reação em mm.

Foram testadas no mínimo dez larvas de dourado por dia durante os primeiros 12 dias após eclosão. O comprimento das larvas de dourado foi medido com o auxílio de um paquímetro ($\pm 0,01\text{mm}$) e o peso com uma balança analítica ($\pm 0,001\text{ g}$) no final do experimento para avaliar o crescimento final.

III.4.2. Análise histológica da retina e acuidade teórica

Os resultados de acuidade comportamental forma complementados com análises histológicas do olho e retina durante o desenvolvimento larval do dourado. As larvas de dourado avaliadas para acuidade comportamental foram fixadas no 1º, 2º, 3º, 5º, 7º, 9º e 12 º DAE em formol tamponado 4% e transferidos para álcool 70% após 24 horas. O diâmetro do olho destas amostras foi medido antes e após o processo de fixação e preservação em álcool para quantificar o grau de encolhimento dos olhos sendo processados. O valor médio obtido foi de 44%. O diâmetro da lente foi medido com o auxílio de um microscópio Olympus CX 3 em uma magnificação de 4X.

Foram processadas 10 larvas de dourado para cada grupo de idade de acordo com procedimento padrão para processamento histológico (Junqueira, 1983). As amostras foram emblocadas em parafina e cortadas em secções de 4 μm de espessura, sendo posteriormente coradas com hematoxilina e eosina. Foram realizados cortes transversais do globo ocular, procurando obter cortes ao nível do nervo óptico (Yasutake e Wales, 1983). Foram selecionados cortes onde o nervo óptico estava visível para a contagem do número de elipsóides de cones a cada 100 μm . O cálculo da acuidade histológica teórica foi baseado na equação (Neave, 1984):

$$\text{Seno } \alpha = 1,44 / (10d \times 2,55r), \text{ onde:}$$

d= número de elipsóides de cones na retina por 100 micrômetros lineares; r = raio da lente (mm); 1,44 = refere-se ao fator de encolhimento do olho obtido para as amostras analisadas; 2,55= Fator de Matthiessen.

O valor do fator de Matthiessen (a relação entre o comprimento focal e o raio da lente) varia de 2,2 a 2,8 em diferentes espécies dos peixes (Fernald, 1990). Entretanto, 2,55 é um médio aproximado e é o valor usado geralmente para o cálculo da acuidade visual de larvas de peixes (Neave, 1984; Pankhurst, 1994; Shand, 1994).

III.4.3. Limiar de visão escotópica

Para a quantificação deste parâmetro as larvas de dourado foram aclimatadas ao escuro total (iluminância menor do que 1×10^{-5} lux) por aproximadamente 30 min antes de começar os testes. A observação de suas atividades de natação foi possível pela utilização de uma câmera de vídeo Panasonic BP-330 preto e branca sensível ao infravermelho acoplada ao sistema. O sistema de teste possui pequenos diodos emissores de luz infra-vermelha ("LEDs") que permitem desta forma a visualização das atividades do peixe no escuro através da câmera de vídeo. A intensidade luminosa, medida em termos de iluminância (lux) ou irradiância ($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$), foi aumentada gradativamente desde 1×10^{-5} lux até 1×10^1 lux, através de um regulador de intensidade luminosa escotópica. Este regulador controla a intensidade de diodos emissores de luz verde, e a intensidade de corrente passando através dos diodos emissores de luz verde é quantificada com um voltímetro (precisão de 0,1 $\mu\text{amperes}$). Estas medidas de corrente foram calibradas com as correspondentes iluminância (lux) e irradiância ($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$) quantificadas com o sensor do fotômetro-radiômetro posicionado na posição aproximada do peixe sendo testado no interior da câmara experimental.

Para avaliação do limiar de visão escotópica, foi utilizada uma largura de faixas pretas e brancas padronizada, de aproximadamente 15 mm de largura (correspondente a aproximadamente 2,55 ciclos pretos e brancos/radiano). Este padrão de faixas pretas e brancas foi movimentado a uma velocidade angular constante de aproximadamente 6 rotações por minuto (rpm). Foram testados pelo menos 10 peixes por dia desde o 2º até o 12º DAE.

O limiar de visão escotópica foi definido operacionalmente pela iluminância em que o peixe testado passa a responder positivamente através da natação na mesma direção de movimento das faixas pretas e brancas, com uma velocidade de pelo menos 3 rpm. Outra definição operacional seria a iluminância em que ocorrem pelo menos quatro alterações claras de direção do movimento dos olhos (resposta optocinética) a cada 60 segundos. Foi utilizado o mesmo sistema descrito na Figura 1 para a quantificação deste parâmetro.

III.4.4. Captura de larvas de curimba em diferentes intensidades de luz.

Foi desenvolvido um sistema de pequenos aquários de 5 cm (largura) x 5cm (altura) x 1,5 cm (profundidade) no interior dos quais foi monitorada a captura de larvas recém eclodidas de curimba *P. lineatus* por larvas de dourado. Estes aquários foram posicionados no interior de uma caixa plástica preta totalmente vedada contra a infiltração de iluminação externa, e dotada de um sistema de iluminação baseado em LEDs verdes do mesmo tipo utilizado no sistema de teste do limiar de visão escotópica. Este sistema permitia a variação da iluminância no interior dos aquários entre o escuro total (menor do que 1×10^{-5} lux) e 1×10^2 lux com o auxílio de um regulador de intensidade luminosa escotópica.

A observação do comportamento das larvas de peixe no escuro ou em iluminância muito baixas foi possível pela utilização de câmeras de vídeo MTC modelo KBC- 602LG preto e branco sensíveis ao infravermelho acopladas ao sistema. A iluminância foi calibrada com base na corrente medida passando através dos LEDs verdes e com o auxílio de um fotômetro-radiômetro modelo IL1700 com um sensor de alta resolução SHD033 (International Light, Newburyport, Massachusetts, U.S.A.).

Os aquários foram mantidos com circulação constante de água durante todos os experimentos, e as larvas de dourado a serem testadas eram introduzidas nos aquários antes das presas. O sistema desenvolvido permitiu a execução de até 6 experimentos simultâneos, com registro digital das imagens diretamente num microcomputador controlado por uma placa de captura de vídeo Geovision modelo GV800. Os vídeos foram registrados em um tamanho de 320x240 pixels com uma taxa de 30 quadros/s.

Foram oferecidas cinco larvas de curimba a cada larva de dourado testada. A iluminância relativa ao teste que se pretendia realizar era previamente calibrada com base na corrente passando através dos LEDs verdes medida com um voltímetro (precisão de $0,1 \mu\text{ampères}$).

Para a realização dos experimentos sob condições de escuro total, as larvas eram aclimatadas por um período mínimo de 30 minutos para assegurar uma aclimação a condições escotópicas de iluminação. As cinco presas eram introduzidas simultaneamente através de um sistema de funis com mangueiras que permitiam que as larvas de curimba fossem introduzidas diretamente no interior dos aquários onde os dourados já se encontravam, simultaneamente num intervalo menor do que 15s. A partir daí as atividades do predador e das presas foram filmadas em um período de aproximadamente 15min, e registradas diretamente num computador. Finalizado o período de teste, as caixas foram abertas, os dourados retirados dos aquários e as presas restantes contadas.

Os dourados foram testados ao longo do seu desenvolvimento inicial, entre o 5º DAE e o 11º DAE, em condições de iluminância que incluíram situações de escuro total (menor do que 1×10^{-5} lux) ou Log iluminância ($\text{Log } I$) < -5 . Também foram realizados experimentos envolvendo iluminâncias na faixa considerada escotópica (visão noturna), entre 1×10^{-5} lux e 1×10^{-2} lux, e em alguns casos iluminâncias na faixa fotópica (visão diurna), acima de 1×10^{-2} lux.

Os seguintes parâmetros foram quantificados pela análise dos vídeos obtidos em cada um dos experimentos realizados individualmente com as larvas de dourado: o número total de ataques às presas, o número de ataques seguidos de captura e ingestão, o tempo de manipulação do predador definido como o tempo decorrido entre o ataque e a ingestão completa da presa, o número de presas capturadas, e a eficiência de captura das presas, definida como o número total de ataques dividido pelo número total de capturas no período experimental de 15 minutos. O tempo transcorrido entre o início do experimento e o momento de ocorrência de cada um destes eventos também foi registrado. Além disso, foram observados os padrões gerais de comportamento das presas e dos predadores nas diferentes condições de iluminação testadas.

III.5. RESULTADOS

III.5.1. Acuidade visual comportamental

Durante o desenvolvimento inicial das larvas de dourado, foi observado que a acuidade visual melhora significativamente durante os primeiros 12 dias de vida (Figura 2 e Tabela 1). Não foram detectadas respostas comportamentais positivas de acompanhamento das faixas teste (optocinéticas ou optomotoras) no 1º DAE. A partir do 2º DAE a acuidade visual pode ser quantificada com base na resposta optocinética. No 2º DAE as larvas de dourado apresentavam um comprimento de $7,56 \pm 0,6$ mm (média \pm desvio padrão) e foi medida uma acuidade de 12,6 graus. Foi observada uma evolução da acuidade visual a cada dia, atingindo 3 graus no 8º DAE, e estabilizando-se por volta de 2,5 graus no 12º DAE, quando os dourados apresentavam um comprimento total de 23,5 mm.

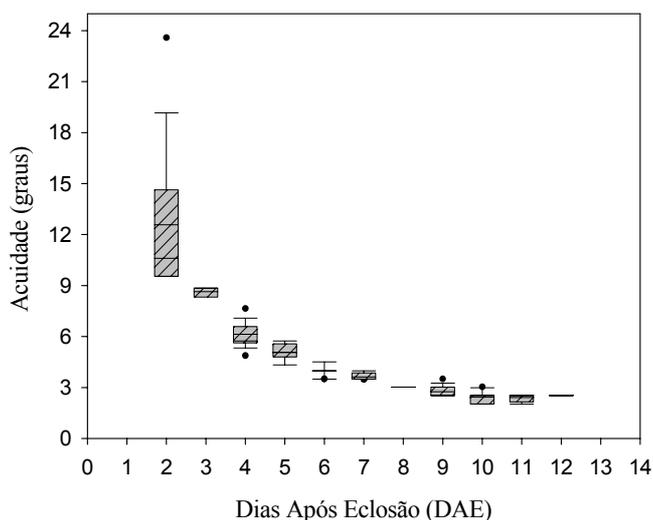


Figura 2. Desenvolvimento ontogenético da acuidade comportamental de larvas de dourado *Salminus brasiliensis* entre o 2º e o 12º dia após a eclosão.

A partir dos dados obtidos de acuidade visual, foram calculadas as distâncias de reação (DR) a presas de dimensões variáveis com base no comprimento total das mesmas. Estes valores de distância de reação representam a distância máxima entre o predador e as presas que ainda possibilita a detecção da presa por parte do predador. Foi calculado o incremento das distâncias de

reação a presas que ocorre concomitantemente com a diminuição do ângulo de acuidade visual (= melhora da função acuidade visual) ao longo do desenvolvimento inicial dos dourados. O cálculo da DR baseou-se em presas de comprimento total representando os tamanhos de larvas de curimba utilizados nos experimentos descritos no capítulo 1 e de larvas de dourado até o 10º DAE.

Para um dado valor de acuidade visual, a distância máxima que uma larva de dourado pode detectar uma presa aumenta conforme aumentam as dimensões da presa (Tabela 1). No 5º DAE as larvas de dourado são capazes de detectar uma presa P1 a uma distância máxima de 71 mm, uma presa P2 a 87 mm e uma presa P3 a 102 mm de distância. Uma presa P4, que representaria uma larva de dourado irmã no 5º DAE poderia ser detectada a uma distância máxima de 172 mm.

Tabela 1. Desenvolvimento da acuidade visual do dourado *Salminus brasiliensis* com as respectivas distâncias de reação a presas de diferentes dimensões.

Idade (DAE)	Acuidade (graus)	Distancia Reação (mm)				
		P1	P2	P3	P4	P5
2	12,6	28,2	34,7	40,6	68,1	90,8
3	8,6	41,1	50,7	59,3	99,3	132,4
4	5,9	60,0	74,0	86,6	145,1	193,5
5	5,0	71,1	87,8	102,7	172,1	229,5
6	4,0	89,1	109,9	128,6	215,5	287,3
7	3,6	98,1	121,1	141,7	237,4	316,6
8	3,0	117,3	144,7	169,3	283,7	378,3
9	2,7	129,3	159,6	186,7	312,9	417,2
10	2,4	145,9	180,1	210,7	353,1	470,8

P1: presa de comprimento total igual a 6,2 mm,

P2 presa de comprimento total igual a 7,6mm,

P3: presa de comprimento total igual a 8,63mm.

P4: presa de comprimento total igual a 15 mm (dourado no 5º DAE)

P5: presa de comprimento total igual a 20 mm (dourado no 10º DAE)

DAE: dias após a eclosão

Com a melhora da acuidade visual as distâncias de reação também aumentam para cada dimensão de presa, e no 10º DAE uma larva de dourado pode detectar uma presa P1 a uma distância de 145 mm e uma presa P5, que representa um dourado no 10º DAE, a uma distância máxima de 470 mm.

Foi calculada a respectiva área de reação ao longo do desenvolvimento de larvas de dourado a presas com base nas distâncias de reação quantificadas neste trabalho (Tabela 2).

Tabela 2. Valores das áreas de reação de larvas de dourado no 3º, 5º e 10º dias após a eclosão calculadas com base na distância de reação a presas de diferentes tamanhos

Idade dias após eclosão	Acuidade graus	Tipo de presa	C.T. (mm)	Distância de reação mm	Área de reação mm ²	A.Reação relativa %	Densidade relativa proposta*
3	8,6	PL1	6,2	41	3530	70%	1,4
3	8,6	D3	7,4	49	5015	100%	
5	5,0	PL1	6,2	71	10598	17%	5,9
5	5,0	PL2	7,7	88	16134	26%	3,8
5	5,0	D5	15,0	172	62032	100%	
10	2,4	PL1	6,2	146	44605	9%	10,6
10	2,4	PL2	7,7	180	67908	14%	7,0
10	2,4	PL3	9,0	211	92948	20%	5,1
10	2,4	D10	20,0	475	473378	100%	

PL1: larva de curimba *P. lineatus* de 6,2 mm de comprimento total

PL2: larva de curimba *P. lineatus* de 7,7 mm de comprimento total

PL1: larva de curimba *P. lineatus* de 9,0 mm de comprimento total

D3: larva de dourado no 3º dia após a eclosão

D5: larva de dourado no 5º dia após a eclosão

D3: larva de dourado no 10º dia após a eclosão

C.T.: comprimento total

*: densidade mínima de cada presa relativa a densidade de dourados para que a possibilidade de localização da mesma pela larva de dourado seja igual à possibilidade de localização de uma larva de dourado irmã

Uma larva de dourado no 3º DAE apresenta uma área de reação a uma presa PL1 (presa de 6,2 mm de comprimento) é 70% da área de reação a uma larva de dourado irmã também no 3º DAE. Isto representa uma área de reação de um dourado no 3º DAE para uma larva PL1 é 1,4 vezes menor do que a área de reação a outro dourado irmão aproximadamente de mesmo comprimento total.

No 5º DAE, uma larva de dourado apresenta uma área de reação a uma presa PL1 de 17% da área de reação a uma larva de dourado irmã do mesmo dia. A área de reação de um dourado no 5º DAE para uma larva PL1 é 5,9 vezes menor do que a área de reação a outro dourado irmão aproximadamente de mesmo comprimento total.

No 10º DAE, uma larva de dourado apresenta uma área de reação a uma presa PL1 de 9% da área de reação a uma larva de dourado irmã também no 10º DAE. Isto representa uma área de

reação de um dourado no 10º DAE para uma larva PL1 é 10,6 vezes menor do que a área de reação a outro dourado irmão aproximadamente de mesmo comprimento total.

III.5.2. Análise histológica da retina e acuidade teórica

A retina dos teleosteos é composta por uma complexa série de camadas de diferentes tipos de neurônios, incluindo a camada do epitélio pigmentado (EP, Figura 3e e 3f), que torna o olho bastante escuro e visível a olho nu, uma vez que a pigmentação esta completa. Em seguida encontramos a camada dos elipsóides dos fotorreceptores (E, Figura 4e), no interior dos quais ocorre a ativação primária dos neurônios fotorreceptores pela luz, iniciando o processo de fototransdução. Este processo transforma o estímulo visual num impulso nervoso que se propaga através das sinapses entre os diferentes neurônios da retina até o cérebro, onde é processado. Em seguida temos a camada nuclear externa, onde se encontram os núcleos dos fotorreceptores da retina (CNE, Figura 4e), seguida da camada plexiforme externa (CPE), onde encontramos os axônios dos fotorreceptores (Figura 4e). Após a camada plexiforme externa encontra-se a camada nuclear interna (CNI, Figura 4c), onde localizam-se os núcleos de diversos tipos de neurônios da retina, como as células amácrinas, células horizontais, células bipolares, células Muller, que compõe a complexa rede de comunicações entre os diferentes tipos de neurônios presentes na retina. A camada seguinte é a camada plexiforme interna (CPI, Figura 4e), onde localizam-se os axônios das células da camada nuclear interna e os dendritos das células ganglionares retinianas (CG). As células ganglionares retinianas são células fundamentais da retina, que compõe a camada seguinte (Figura 4c). Os dendritos das células ganglionares estabelecem sinapses direta ou indiretamente com todos os outros neurônios presentes na retina, e a fusão dos seus axônios constitui o nervo óptico (NO, Figura 4b), que deixa a retina e estabelece a única rota de comunicação sináptica direta entre o olho e o cérebro.

A análise histológica do grau de pigmentação dos olhos indicou que no 1º DAE a retina encontrava-se pouco pigmentada, e os olhos eram difíceis de distinguir a olho nu. O diâmetro do olho no 1º DAE tem 0,22 mm (média) e o mesmo já está em adiantado estágio de desenvolvimento, com a presença da lente e das diferentes camadas da retina em formação (Figura 3a). No 1º DAE ainda não foi possível distinguir as camadas plexiformes externa e interna, e as diferentes camadas de neurônios não se encontram totalmente delimitadas (Figura 4a). No 2º DAE o olho está bem visível e a retina bem pigmentada, conforme pode-se constatar pela aparência do epitélio pigmentado na Figura 3b. As diferentes camadas da retina já estão bem delimitadas, e o nervo óptico está bem caracterizado (Figura 3b). Esta estrutura organizacional completa da retina está coerente com os dados comportamentais, uma vez que foi no 2º DAE que foram detectadas as primeiras respostas optocinéticas positivas (Figura 2). A partir do 3º DAE as diferentes camadas da retina estão bem diferenciadas e há uma extensão das camadas plexiformes e uma melhor delimitação das camadas conforme as larvas crescem de tamanho (Figura 3c, d, e, f e Figura 4c, d, e, f). Também ocorre um aumento do comprimento dos elipsóides dos fotorreceptores entre o 3º DAE (Figura 4b) e o 9º DAE (Figura 4f), que acompanha a melhora da acuidade visual comportamental quantificada (Figura 2). A acuidade histológica ou teórica baseia-se essencialmente em características ópticas da lente e no espaçamento entre os fotorreceptores, especialmente os cones. Os parâmetros que são necessários

para o cálculo da acuidade histológica incluem o diâmetro da lente, que variou de 0,27 mm (média) no 2º DAE a 1,38 mm no 12º DAE (Figura 5). A densidade de elipsóides (por 100 µm de retina) na camada de elipsóides variou entre 16,7 no 2º DAE e 22,6 no 12º DAE (Figura 5). O diâmetro do olho variou de 0,22 mm no 1º DAE a 1,38 mm no 12º DAE. (Figura 3 e Figura 4).

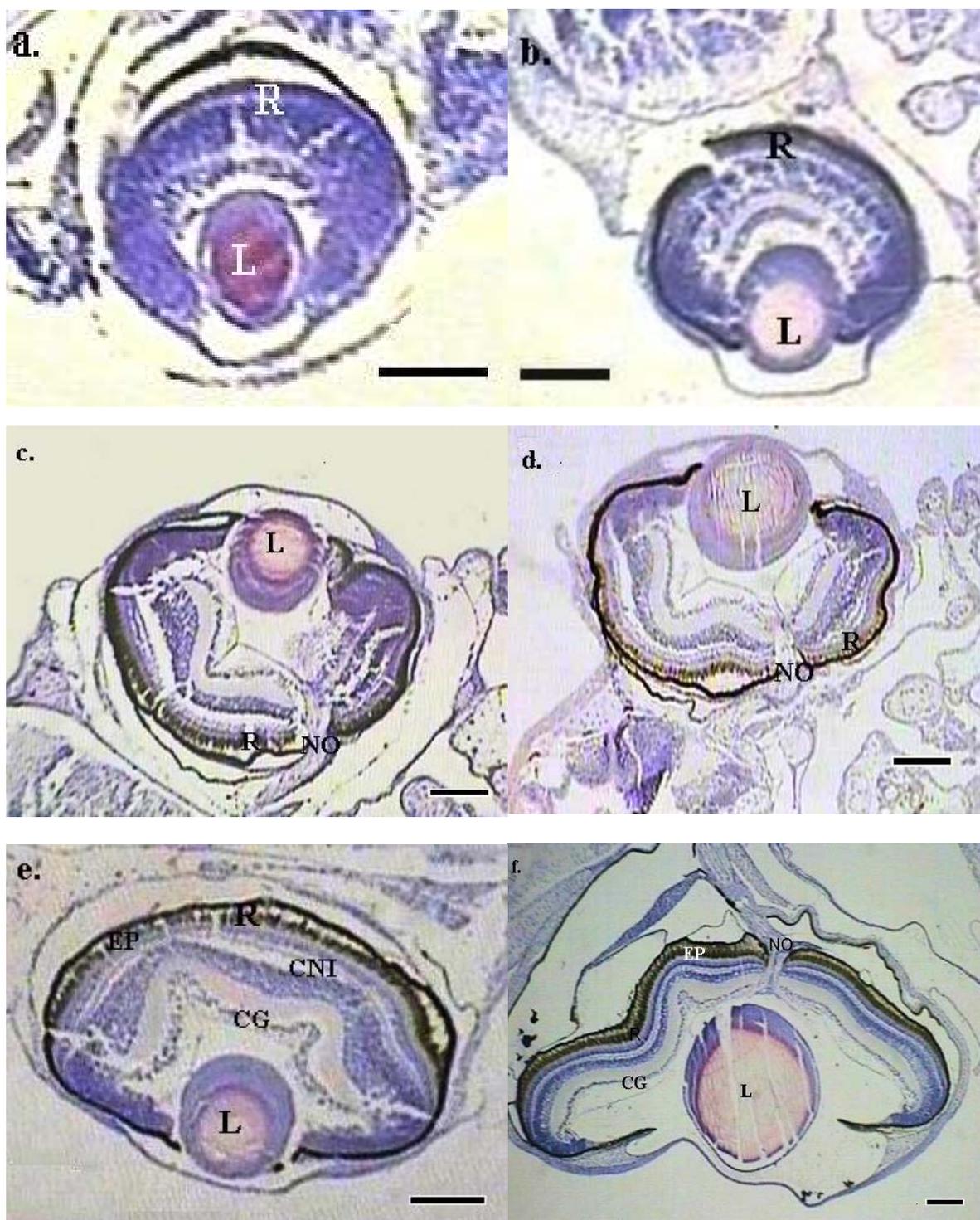


Figura 3. Corte transversal do olho de larvas de dourado, *Salminus brasiliensis*, nos primeiros dias de desenvolvimento (a.) 1º DAE, (b.) 2º DAE, (c.) 4º DAE, (d.) 5º DAE (e.) 6º DAE, (f.) 9º DAE. L, lente; R, retina; NO, nervo óptico; EP, epitélio pigmentado; CNI, camada nuclear interna; CG, células ganglionares. Corte de 4µm. A barra de escala tem 100µm de comprimento.

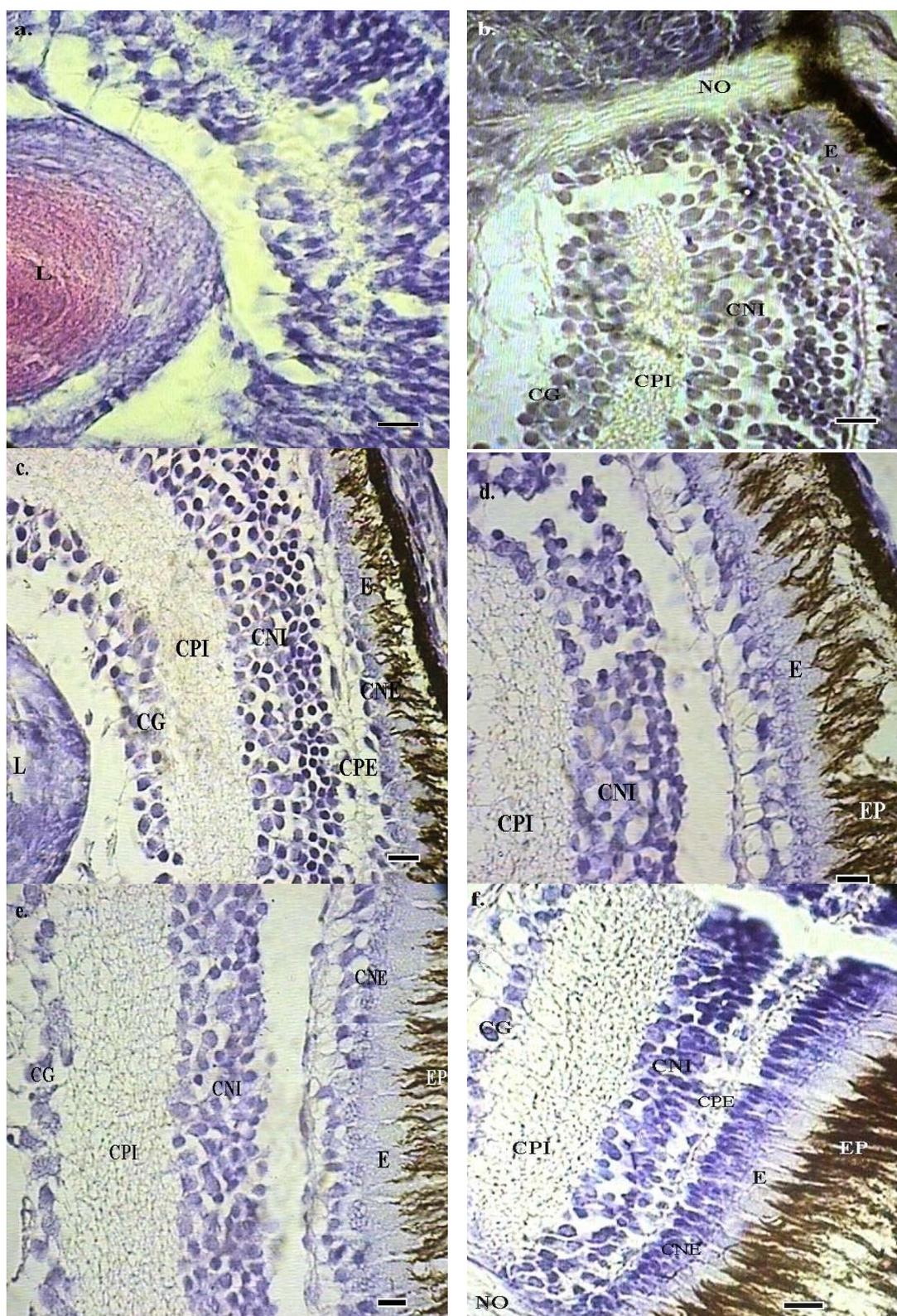


Figura 4. Corte transversal da retina de larvas de dourado, *Salminus brasiliensis*, nos primeiros estágios de desenvolvimento. (a.) 1º DAE; (b.) 2º DAE; (c.) 3º DAE; (d.) 4º DAE; (e.) 6º DAE; (f.) 9º DAE. L, lente; NO, nervo óptico; E, elipsóides; CNE, camada nuclear externa; CPE, camada plexiforme externa; CNI, camada nuclear interna; CPI, camada plexiforme interna; CG, células ganglionares. Corte de 5µm. A barra de escala de 10µm de comprimento.

Utilizando-se a fórmula apresentada no item III.3.2, foi calculada a acuidade teórica ou histológica, que variou entre 4,2 graus \pm 0,5 (média \pm desvio padrão) no 2º DAE e 0,65 graus \pm 0,05 grau no 12º DAE (Figura 5).

A acuidade histológica foi cerca de três vezes menor do que a acuidade comportamental no 2º DAE, e cerca de quatro vezes menor no 12º DAE (Figura 6). No 2º DAE a acuidade histológica foi de 4,2 graus \pm 0,5, enquanto que a acuidade comportamental foi de 12,6 graus. No 12º DAE a acuidade histológica foi de 0,7 graus \pm 0,05 grau, enquanto que a acuidade comportamental foi de 2,5 graus.

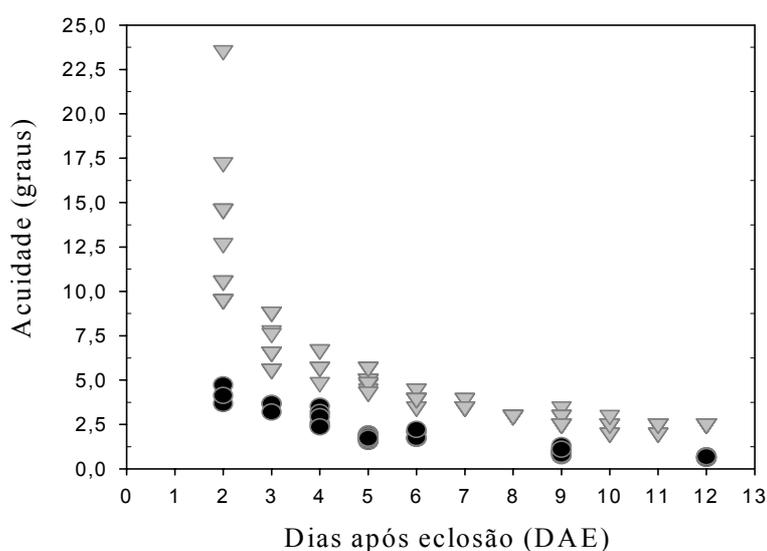


Figura 5. Acuidade histológica (●) e comportamental (▼) ao longo do desenvolvimento inicial de larvas de dourado *Salminus brasiliensis*.

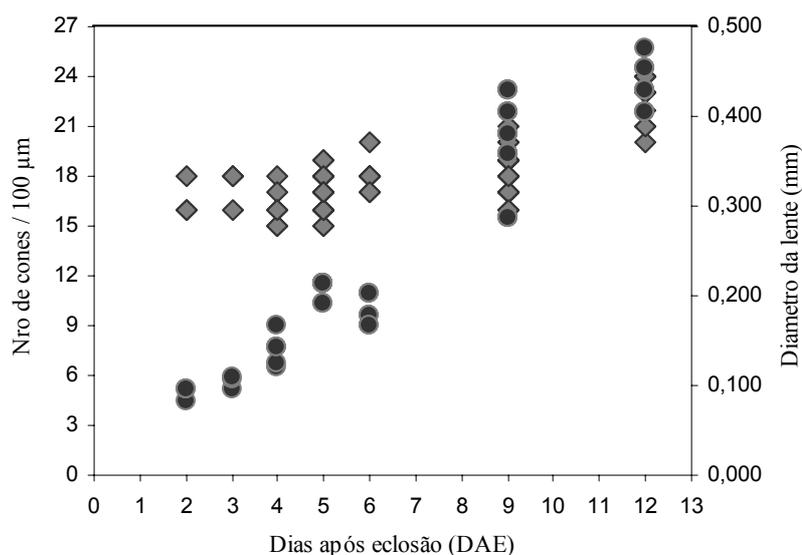


Figura 6. Diâmetro da lente (●), densidade no número de elipsóides de cones (◆) ao longo do desenvolvimento inicial de larvas de dourado *Salminus brasiliensis*.

III.5.3. Limiar de visão escotópica

Durante os primeiros 12 dias de desenvolvimento, as larvas de dourado testadas apresentaram respostas positivas à faixa preta e branca padronizada para o teste de visão escotópica em níveis de iluminância baixos. Entretanto, foram obtidas respostas positivas somente acima da faixa considerada escotópica, que está abaixo de $\text{Log } I = -2$, abaixo de 0,01lux. O limiar de visão escotópica variou entre 0,04 lux ($\text{Log } I = -1,46$) no 4ºDAE e 0,01 lux ($\text{Log } I = -1,90$) no 11º DAE ($p < 0,001$) (Figura 7).

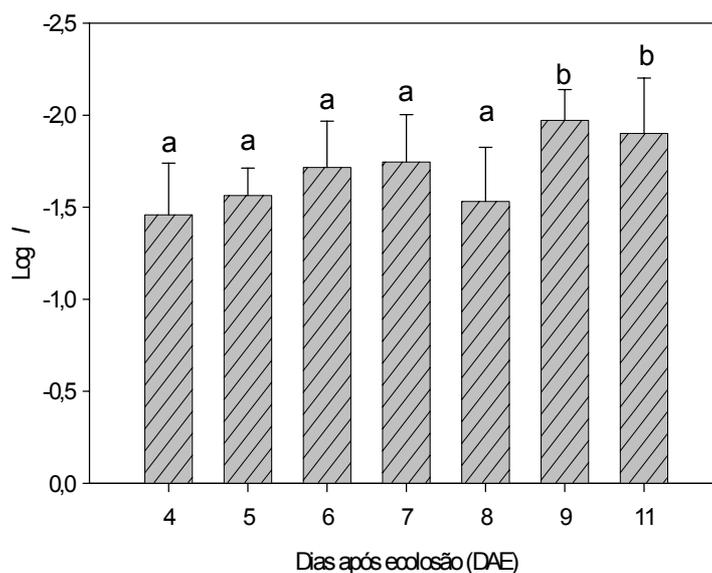


Figura 7. Limiar da visão escotópica ao longo do desenvolvimento inicial do dourado *Salminus brasiliensis*. a, b: Letras diferentes indicam diferença significativa (ANOVA I, $p < 0,05$ seguido de teste Tukey, $p < 0,05$).

III.5.4. Captura de larvas de curimba em diferentes intensidades de luz

O comportamento de captura de presas das larvas de dourado no escuro (faixa de iluminância $< 1 \times 10^{-5}$ lux até 0,0009 lux) foi observado que as larvas de dourado aproximavam-se às presas, mas só conseguiam capturá-las quando as presas movimentavam a água e se encontravam próximo a lateral do corpo. As larvas de dourado ficavam nadando de um canto para o outro do aquário, e a qualquer movimento da água davam atacavam tentando morder aquilo que originou essa vibração.

Em condições fotópicas aproximadamente de 11 lux, no comportamento de captura de presas das larvas de dourado foi observado que elas direcionavam com olhos nas presas, esperando a aproximação para poder atacar e capturar.

Foi detectado que o comportamento de evasão ou fuga das presas também influenciou o sucesso de captura das larvas de dourado. Em condições de escuro as presas nadavam lentamente de um canto do aquário para o outro, e muitas das vezes não conseguiam perceber aos dourados

nem escapar. Enquanto que em condições de iluminância fotópica, elas conseguiam às vezes fugir das larvas de dourado.

Foi detectado um aumento da eficiência de captura no escuro conforme os dourados se desenvolviam durante o período experimental. A eficiência de captura de larvas de curimba pelas larvas de dourado mantidas no escuro (iluminância $< 1 \times 10^{-5}$ lux, $\text{Log I} < -5$) variou entre 33% no 5º DAE e 56% no 11º DAE (Tabela 2). Entretanto, as diferenças entre as médias dos valores de eficiência de captura entre os dias testados 5º, 6º e 11º DAE, não foi estatisticamente significativa (ANOVA I, $p = 0,08$) (Tabela 2). Foi evidenciado um aumento também no número total de presas capturadas, que variou de 3,5 presas no 5º DAE para 4,3 presas no 11º DAE (ANOVA I, $p = 0,19$) (Tabela 3).

Pode-se considerar que durante os experimentos realizados a uma iluminância de 0,0009 lux ($\text{Log I} = -3,07$) a visão também não foi utilizada na captura das larvas de curimba. Esta iluminância situa-se abaixo do limiar de visão escotópica quantificado neste trabalho, ou seja, abaixo da mínima iluminância necessária para a obtenção de uma resposta visual comportamental positiva. Se considerarmos desta forma que os valores de eficiência de captura obtidos a um $\text{Log I} = -3,07$ podem ser agrupados com os valores obtidos no escuro, a tendência de aumento da eficiência de captura no escuro ao longo do desenvolvimento dos dourados fica mais evidente, uma vez que no 7º DAE e no 11º DAE a eficiência de captura foi maior do que 60% a um $\text{Log I} = -3,07$, comparados com os valores de 33% e 53% relativos ao 5º e 6º DAE no escuro (Tabela 2).

Também foi verificado um aumento da eficiência na captura de curimbas entre o 6º DAE e o 11º DAE a uma iluminância fotópica aproximada de 11 lux ($\text{log I} = 1,04$). A eficiência de captura de larvas de curimba passou de 35,9 % no 6º DAE para 75,1% no 11º DAE (Teste t, $p < 0,001$) e o número de presas capturadas passou de 2,8 no 6º DAE para 4 presas no 11º DAE (Tabela 3) (Teste T, $p = 0,03$).

Entre o 7º DAE e o 11º DAE dos dourados não foi detectada nenhuma evolução da eficiência de captura de presas em condições de $\text{Log I} = -3,07$, $\text{Log I} = -1,44$ ou $\text{Log I} = -0,04$ (Teste t, $p > 0,05$).

Comparando-se a eficiência de captura em diferentes níveis de iluminância num mesmo estágio de desenvolvimento, no 7º DAE não foi detectada diferença entre a eficiência de captura dos dourados variando-se a iluminância entre 0,0009 lux ($\text{Log I} = -3,07$) e 0,92 lux ($\text{Log I} = -0,04$) (Anova I, $p = 0,62$) (Tabela 2). Entretanto, no 11º DAE foi detectado um aumento da eficiência de captura dos dourados conforme se aumenta a iluminância, que variou entre o escuro ($< 0,00001$ lux ou $\text{Log I} < -5$) e 11 lux ($\text{Log I} = 1,04$) (Anova I, $p = 0,09$). A média de eficiência de captura aumenta de 56% no escuro para 75% a 11 lux de iluminância (Tabela 2).

No 6º DAE foi encontrado que a eficiência de captura diminuiu de 53% no escuro para 35% a 11 lux (Teste t, $p = 0,09$). Isto é corroborado pelo fato de que o número total de presas capturadas diminuiu de 4,2 presas no escuro para 2,8 presas em 11 lux de iluminância (ANOVA I, $p = 0,01$).

Tabela 3 Eficiência de captura (%) ao longo do desenvolvimento de larvas de dourado *Salminus brasiliensis* testadas em diferentes condições de iluminância

Idade	Iluminância (log I)									
	-5		-3,07		-1,44		-0,04		1,04	
DAE	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
5	33,0	20,0								
6	53,1	22,6							35,9	27,2(p=0,09)
7			66,6	21,4	58,4	23,5	63,4	22,3		(p=0,62)
11	56,8	19,6	60,2	19,0	60,3	24,3	73,9	16,7	75,1	15,5(p=0,09)
	(p=0,08)		(p=0,53)		(p=0,84)		(p=0,31)		*(p<0,001)	

DAE: dias após a eclosão

D.P.: desvio padrão

Tabela 4. Número de presas capturadas ao longo do desenvolvimento de larvas de dourado *Salminus brasiliensis* testadas em diferentes condições de iluminância

Idade	Iluminância (log I)									
	-5		-3,07		-1,44		-0,04		1,04	
DAE	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
5	3,5	1,2								
6	4,2	0,9							2,8	1,6*(p=0,01)
7			4,3	0,8	4,1	1,0	3,4	1,3		(p=0,06)
11	4,3	0,5	4,3	0,8	4,0	0,7	3,7	0,8	4,0	0,7(p=0,71)
	(p= 0,19)		(p=0,91)		(p=0,84)		(p=0,59)		*(p=0,03)	

DAE: dias após a eclosão

D.P.: desvio padrão

O tempo de manipulação das presas antes de sua ingestão completa diminuiu ao longo do desenvolvimento dos dourados. Em 11 lux de iluminância, o tempo de manipulação das presas diminuiu de 9s no 6º DAE para 3s no 11º DAE (ANOVA I, p=0,02). No 7º DAE o tempo de manipulação passou de valores maiores do que 4s em diferentes iluminâncias para valores menores do que 2,5 s no 11º DAE (Tabela 4). No escuro, o tempo de manipulação variou entre 22s no 5º DAE para 2,4s no 11º DAE (p =0,09).

Tabela 5. Tempo de manipulação das presas durante o desenvolvimento de larvas de dourado *Salminus brasiliensis* sob em diferentes condições de iluminância

Idade DAE	Iluminância (log I)									
	-5		-3,07		-1,44		-0,04		1,04	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
5	22,4	33,5								
6	11,2	16,4							9,0 ^a	7,9 (p = 0,66)
7			5,8	5,6	5,0 ^b	2,3	4,2	2,1		(p = 0,50)
11	2,4	0,9	1,9	0,8	1,3 ^a	0,3	2,5	1,5	3,06 ^b	0,7 *(p < 0,05)
	(p = 0,09)		(p = 0,11)		*(p < 0,001)		(p = 0,09)		*(p = 0,02)	

DAE: dias após a eclosão

D.P.: desvio padrão

^{a, b} : Letras diferentes significa diferença significativa (p < 0,05)

O número de ataques a larvas de curimba diminuiu de 8,5 para 6,2 ataques entre o 6º DAE e o 11º DAE a 11 lux de iluminância (Teste t, p = 0,02), e também tendeu a diminuir de 9,9 ataques no 5º DAE para 3,6 ataques no 11º DAE no escuro (Anova I, p = 0,05) (Tabela 5). Não foram detectadas diferenças entre o número de ataques comparando-se o 7º DAE e o 11º DAE a diferentes iluminâncias (Teste t, p > 0,05).

Tabela 6. Número de ataques a larvas de curimba ao longo do desenvolvimento de larvas de dourado *Salminus brasiliensis* testadas em diferentes condições de iluminância

Idade DAE	Iluminância (log I)									
	-5		-3,07		-1,44		-0,04		1,04	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
5	14,5	9,9								
6	8,5	4,4							8,5 ^a	3,2(p=0,61)
7			7,5	4	7,9	3,5	5,9	3,1		(p=0,30)
11	7,9	3,6	7,5	1,5	7,5	2,6	5	0,6	6,2 ^b	1,1(p=0,09)
	(p=0,08)		(p=1)		(p=0,73)		(p=0,47)		*(p=0,02)	

DAE: dias após a eclosão

D.P.: desvio padrão

^{a, b} : Letras diferentes significa diferença significativa (p < 0,05)

III.6. DISCUSSÃO

A estrutura e função do sistema visual do dourado *Salminus brasiliensis* passa por mudanças significativas nos primeiros doze dias de vida. Este trabalho caracterizou parte destas mudanças ao nível de estrutura da retina, ao nível da função visual baseada na resposta optomotora, e também ao nível de relações comportamentais entre predadores e presas. A visão provavelmente não é o único sentido que a larva de dourado utiliza durante o início da alimentação exógena ou procura de alimento.

III.6.1. Acuidade visual

A avaliação da acuidade visual demonstrou que durante o desenvolvimento ontogenético do dourado *Salminus brasiliensis* o sentido da visão melhora rapidamente na primeira semana de vida. No primeiro dia após a eclosão a larva de dourado *Salminus brasiliensis* tem o epitélio pigmentado da retina com pigmentação incompleta, e as diferentes camadas de neurônios não estão completamente formadas. Provavelmente a conexão entre a retina e o cérebro ainda não esteja funcional no 1º DAE, o que estaria em concordância com a ausência de respostas optocinéticas positivas frente a estímulos visuais nas larvas testadas. Ceccarelli (2002) menciona que com 23 horas após a eclosão as larvas de dourado *Salminus maxillosus* (sinonímia *Salminus brasiliensis*) apresentam olhos pigmentados, o que seria característico de predadores visuais; nos resultados obtidos neste trabalho indicam uma pigmentação incompleta dos olhos no 1º DAE, sendo que a capacidade visual ainda não se encontra funcional. As primeiras respostas positivas ao padrão de listras pretas e brancas ocorreram no 2º DAE, sendo esta acuidade comportamental inicial de 12,6 graus. A acuidade visual atingiu 3 graus no 8º DAE, e estabilizou-se por volta de 2,5 graus no 12º DAE, quando os dourados apresentavam um comprimento total de $23,54 \pm 1,0$ mm. Esta melhora da acuidade visual de peixes nos primeiros estágios de desenvolvimento envolve diversos aspectos estruturais e fisiológicos, relacionados à diferenciação e acréscimo de neurônios nas diferentes camadas da retina descritas para o dourado neste trabalho, ao estabelecimento das conexões sinápticas entre a retina e o teto óptico no cérebro (Rahmann e Jeserich, 1978), ao aumento do tamanho do olho (Douglas e Hawryshyn, 1990), e ao aumento do tamanho dos elipsóides dos fotorreceptores e da concentração do retinóide all-trans-retinal, essencial para a transdução do estímulo visual em sinapse química (Carvalho et al., 2004).

A acuidade histológica calculada foi melhor que a comportamental durante o mesmo período de desenvolvimento ontogenético. As larvas de peixes aparentemente não apresentam uma resolução espacial tão detalhada quanto seria previsto na teoria com base anatômica ou histológica. No 2º DAE a acuidade histológica calculada foi de 4,2 graus, atingindo 0,65 graus no 12º DAE. Portanto, o ângulo de acuidade histológica foi cerca de três vezes menor do que a acuidade comportamental no 2º DAE, e cerca de quatro vezes menor no 12º DAE. Esta discrepância entre os valores de acuidade avaliada comportamentalmente e com base anatômica ou histológica é comum em larvas de peixes, como o linguado *Pleuronectes platessa* e o “turbot” *Scophthalmus maximus* (Neave, 1984), além de *Forsterygion varium* (Pankhurst, 1994), *Premnas biaculeatus* (Job, 1996) e o bacalhau *Hippoglossus hippoglossus* (Helvik e Karlsen, 1996). A explicação para esta discrepância

entre a acuidade visual comportamental e a anatômica pode ser baseada no fato de que a acuidade comportamental integra todos os aspectos estruturais e fisiológicos necessários para o funcionamento da visão, o que não acontece quando se calcula a acuidade com base na histologia da retina e nas características da lente exclusivamente. Portanto, o desenvolvimento incompleto do teto óptico ou dos músculos da lente (Pankhurst, 1996), ou também a convergência das sinapses dos fotorreceptores ao nível das células ganglionares (Browman et al., 1990) poderiam estar ocasionando uma piora da acuidade visual que não é levada em conta no cálculo da acuidade histológica.

A acuidade comportamental foi usada como base para se calcular a distância de reação, ou seja, a distância máxima em que a larva de dourado detecta uma presa de tamanho determinado. A distância de reação é uma forma de se representar o ângulo de acuidade visual aplicado a uma presa de dimensões conhecidas. Desta forma, para um dado ângulo de acuidade visual característico de um estágio de desenvolvimento, quanto maior foram as dimensões da presa em questão, maior a distância de reação do predador em relação a esta presa. As distâncias de reação calculadas foram baseadas nos tamanhos de presa representadas por curimba *P. lineatus* oferecidos aos dourados nos experimentos do capítulo I e em dourados potencialmente ingeridos por canibalismo tipo II ao longo dos dez dias de larvicultura.

As larvas de dourado no 5º DAE são capazes de detectar uma presa de 6,2 mm de comprimento (P1) a uma distância máxima de 71 mm, uma presa de 7,7 mm de comprimento (P2) a 87 mm e uma presa de 9,0mm de comprimento (P3) a 102 mm de distância. Uma presa que representa uma larva irmã de dourado (no 5º DAE ou P4) poderia ser detectada a uma distância máxima de 172 mm. De modo similar, no 10º DAE as distâncias de reação aumentam conforme se aumenta a dimensão das presas, e uma larva de dourado pode detectar uma presa P1 a uma distância de 145 mm e uma presa que representa uma larva irmã de dourado no 10º DAE (P5), a uma distância máxima de 470 mm.

A distância de reação é um parâmetro importante no cálculo da área de reação, a partir da área de reação e de uma estimativa da velocidade de natação média de uma larva, é possível calcular o volume de água pesquisado por esta larva em busca de presas potenciais. Portanto, em termos conceituais, uma maior área de reação possibilita a pesquisa de presas em um volume maior, aumentando a possibilidade de detecção das mesmas. O cálculo desta área de reação permitiu que os conhecimentos adquiridos sobre o desenvolvimento da acuidade visual do dourado sejam aplicados a larvicultura com o objetivo de minimizar a possibilidade de ocorrência do canibalismo tipo II.

Uma larva de dourado no 5º DAE apresenta uma área de reação a uma presa P1 (utilizada nos experimentos do Capítulo 1) que é 17% da área de reação a uma larva de dourado irmã também no 5º DAE. Se aumentarmos em 5,9 vezes a densidade de presas P1 relativa a densidade de larvas de dourado, a possibilidade de detecção de uma larva P1 pela larva de dourado no 5º DAE se iguala a possibilidade de detecção de uma larva irmã de dourado. Desta forma, minimiza-se a possibilidade de encontro de uma larva de dourado no 5º DAE com outra larva irmã exclusivamente, potencialmente diminuindo-se os eventos de canibalismo tipo II entre elas. O ideal seria manter a densidade de presas P1 mais de 5,9 vezes superior à densidade de dourados durante o 5º DAE, para

que a possibilidade de encontro de presas P1 seja superior a possibilidade de encontro de larvas de dourado irmãs. O mesmo raciocínio pode ser aplicado a larvas de dourado em outros estágios de desenvolvimento. No 10º DAE a densidade de presas P1, P2 e P3 deveria ser de pelo menos 10,6; 7 e 5,1 vezes a densidade de dourados no 10º DAE, respectivamente, para que o potencial de detecção de presas e de larvas irmãs pelos dourados fosse o mesmo.

Em outros trabalhos avaliaram a influência de outros fatores na distância de reação visual de peixes no consumo de presas em relação com a luz e turbidez (Mazur e Beauchamp 2003). A distância de reação visual de peixes a presas também é incorporada em modelos matemáticos de taxa de encontro ou detecção de presas a turbulência e procura de alimento (Fiksen e MacKenzie 2002) em larvas de peixes, o consumo de presas (Peterson e Gadomski, 1994) e também de taxa potencial de crescimento (Mason e Brandt, 1996).

III.6.2. Limiar de visão escotópica

Considera-se visão escotópica aquela realizada abaixo de $\text{Log } I = -2$ ou abaixo de 0,01 lux de iluminância. Os valores obtidos para o limiar de visão escotópica do dourado até o 11º DAE se encontraram acima da faixa considerada escotópica. O limiar da visão escotópica variou entre 0,035 lux no 4º DAE e 0,012 lux no 11º DAE. Isto indica que durante o desenvolvimento ontogenético inicial do dourado a larva não possui olhos adaptados para condições de escuro. A capacidade dos peixes de adaptação a condições de escuro está intimamente ligada ao desenvolvimento dos bastonetes, e estes resultados indicam a possível ausência de bastonetes na retina dos dourados nesta fase de desenvolvimento. A análise detalhada da presença de bastonetes requer a utilização de microscopia eletrônica, que não foi utilizada neste trabalho.

Blaxter e Staines (1970) examinaram a retina de 12 espécies de larvas de peixes marinhos mostrando que no estágio inicial de desenvolvimento a retina apresenta cones exclusivamente, e o aparecimento de bastonetes acontece durante a metamorfose. É possível que os bastonetes se desenvolvam em estágios mais avançados do desenvolvimento dos dourados. Interessantemente, a retina dos peixes de água doce que vivem em ambientes de baixa intensidade de luz não apresentam uma retina especializada para visão escotópica como observado em peixes de alto-mar (Lythgoe, 1979).

III.6.3. Captura de larvas de curimba em diferentes intensidades de luz

A extensa análise dos vídeos gerados durante o período experimental gerou informações sobre a dinâmica da relação predador-presa entre larvas de dourado e as presas larvas de curimba típica da larvicultura atualmente aplicada na produção de alevinos de dourado. Os dados gerados neste estudo demonstraram que a visão não é o único sentido que a larva de dourado *S. brasiliensis* utiliza para a procura de alimento durante o início da alimentação exógena. As observações da histologia da retina no 1º DAE indicaram o desenvolvimento incompleto das camadas da retina, além de não terem sido detectadas respostas optocinéticas positivas. Apesar desta provável falta de funcionalidade da visão ao final das primeiras 24 horas após a eclosão, as larvas de dourado já são capazes de capturar presas representadas por larvas de curimba de comprimento total ligeiramente inferior ao seu. No 2º DAE a retina apresenta-se pigmentada e pode-se observar a diferenciação das

diferentes camadas da retina, além do aparecimento das primeiras respostas optocinéticas positivas. O desenvolvimento da pigmentação do olho e a diferenciação completa da retina ocorrem paralelamente com a significativa melhora da acuidade visual entre o 3º e o 12º DAE. Neste período as larvas de dourado demonstraram a habilidade de capturar presas representadas por larvas de curimba na completa ausência de luz, ou seja, sem utilizar a visão como órgão sensorial, com eficiências de captura variando entre 33% e 56%, e com uma média de presas capturadas entre 3,5 e 4,3 presas, que equivalem a 70% e 86% do total de presas oferecidas, respectivamente. Estes resultados indicam uma evolução da habilidade das larvas de dourado em detectar e capturar suas presas por meio de órgãos sensoriais não relacionados ao sistema visual. Provavelmente o sistema de mecanorreceptores da linha lateral das larvas de dourado esteja relacionado com esta habilidade de captura de presas no escuro.

Poling e Fuiman (1997) avaliaram a sensibilidade do sistema visual e do sistema de mecanorreceptores (neuromastos) a determinados estímulos em larvas de *Micropogonias undulatus*, e concluíram que ambos sistemas desempenham função importante nos primeiros estágios de desenvolvimento, tanto na procura de alimento como na evasão de predadores. Os neuromastos estão morfológicamente diferenciados e são provavelmente funcionais no estágio inicial do desenvolvimento de peixes, conforme sugerido por Blaxter (1986) e Otsuka e Nagai (1997). A anatomia do sistema da linha lateral em larvas de zebrafish inclui todos os componentes do sistema do adulto e é provavelmente funcional neste estágio de desenvolvimento (Metcalf et al., 1985). As larvas possuem todos os neurônios eferentes encontrados no zebrafish adulto, apesar de que o número dos neuromastos e de neurônios sensoriais aumenta durante o crescimento.

Comparando-se a eficiência de captura em diferentes níveis de iluminância num mesmo estágio de desenvolvimento, no 11º DAE foi detectada uma tendência de aumento da eficiência de captura dos dourados conforme se aumenta a iluminância, que variou entre o escuro ($< 0,00001$ lux ou $\text{Log } I < -5$) e 11 lux ($\text{Log } I = 1,04$) (Anova I, $p = 0,09$). A média de eficiência de captura aumenta de 56% no escuro para 75% a 11 lux de iluminância. Isto pode ser explicado pela maior facilidade de detecção visual e conseqüente captura das presas pelos predadores em condições de iluminância mais elevada.

O inverso encontrado no 6º DAE, em que a eficiência de captura diminuiu de 53% no escuro para 35% a 11 lx (Teste t, $p = 0,09$). Também corroborado pelo fato de que o número total de presas capturadas diminuiu de 4,2 presas no escuro para 2,8 presas em 11 lux de iluminância (ANOVA I, $p = 0,01$). Uma interpretação para estes resultados é de que no 6º DAE os dourados já eram capazes de detectar e capturar as presas no escuro, que nestas condições não evitavam a aproximação com os predadores. Já em condições de maior iluminância, a 11 lux, tanto as presas quanto os predadores têm sua função visual ativa. É possível que o aumento da habilidade de detecção das presas pelos predadores com luz não implicou numa maior eficiência de captura das presas uma vez que com luz também houve um aumento da capacidade de detecção dos predadores pelas presas, que podiam evadir-se mais eficientemente, resultando num decréscimo da eficiência de captura dos dourados. A hipótese acima é corroborada pela observação de uma nítida mudança de comportamento tanto das presas quanto à dos predadores nas duas situações opostas de iluminação. No escuro a totalidade

das capturas foi realizada quando as presas se encontravam a uma distância menor do que 1 cm dos predadores, geralmente em posição lateral a região do opérculo dos dourados predadores, sendo que é nesta região que desenvolvem-se precocemente mecanorreceptores em larvas de peixes (Dijkgraaf, 1963). Nas maiores iluminâncias, os predadores nitidamente detectavam as presas a uma distância maior, e passavam a perseguí-las visualmente até o ataque com uma rápida aceleração em direção às mesmas. Já as presas nesta situação de maior iluminação detectavam os predadores e freqüentemente se afastavam dos mesmos antes mesmo que o ataque final fosse feito.

A eficiência de captura das larvas de dourado em 11 lx de iluminância aumentou de 35,9% no 6º DAE para 75,1% no 11º DAE. Neste nível de iluminância, provavelmente, o sistema visual e outros órgãos sensoriais que não dependem da luz para seu funcionamento estavam em ação. Desta forma, este aumento da eficiência possivelmente reflete o aumento da habilidade de captura das presas pelos dourados pela evolução tanto da sua acuidade visual quantificada neste trabalho e de outros órgãos sensoriais não relacionados ao sistema visual.

O tempo de manipulação das presas antes de sua ingestão completa diminuiu com o desenvolvimento do dourado, passando de 22,4s no 5º DAE para 2,4s no 11º DAE. Esta mudança implica provavelmente num menor gasto energético com o processo de captura e ingestão da presa, e conseqüentemente numa maior taxa de assimilação energética.

III.7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A acuidade visual do dourado *Salminus brasiliensis* melhora rapidamente nos primeiros doze dias após eclosão, concomitantemente com a diferenciação da estrutura da retina. A acuidade comportamental foi melhor do que a acuidade com base histológica.
- As larvas de dourado não apresentam capacidade de visão escotópica durante os primeiros doze dias após a eclosão.
- No período inicial de desenvolvimento das larvas de dourado a visão é importante mas não é fundamental para a detecção e captura de presas. Neste período é provável que a larva de dourado utilize o sistema mecanorreceptor para a localização e captura do alimento.

III.8. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

Beauchamp, D. A., Baldwin, C. M., Vogel, J. L., Gubala, C. P. 1999. Estimating diel, depth-specific foraging opportunities with a visual encounter rate model for pelagic piscivores. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56, (Suppl. 1), 128-139.

Blaxter, J. H. S. 1986. Development of sense-organs and behavior of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115, (1), 98-114.

Blaxter, J. H. S., Staines, M. 1971. Food searching potential in marine fish larvae. In: *Fourth European Marine Biology Symposium*. (Ed. by D. J. Crisp), pp.467-485. Cambridge. Cambridge University Press.

Browman, H. I., Gordon, W. C., Evans, B. I., O'Brien, W. J. 1990. Correlation between histological and behavioral measures of visual activity in a zooplanktivorous fish, the white crappie (*Pomoxis annularis*). *Brain, Behavior and Evolution*, 35, 85-97.

- Carvalho, P. S. M., Noltie, D. B., Tillitt, D. E. 2002. Ontogenetic improvement of visual function in the medaka *Oryzias latipes* based on an optomotor testing system for larval and adult fishes. *Animal Behavior*, 64, 1-10.
- Carvalho P.S.M., Noltie DB, Tillitt DE. 2004. Biochemical, histological and behavioural aspects of visual function during early development of rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 64(4), 833-50.
- Ceccarelli P. S. 2002. Canibalismo em larvas de dourado, *Salminus maxillosus* (Valenciennes, 1849). [Doutorado] Universidade estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- Dijkgraaf, S. 1963. The functioning and significance of the lateral-line organs. *Biology Research*, 38, 51-105.
- Douglas, R. H., Hawryshyn, C. W. 1990. Behavioral studies of fish vision: an analysis of visual capabilities. *The Visual System of Fish* (Ed. by R. H. & D. M. B. A. Douglas), pp.373-418. London: Chapman & Hall.
- Easter, S. S., Nicola, G. N. 1996. The development of vision in the zebrafish (*Danio rerio*). *Developmental Biology*, 180 (2), 646-663.
- Fernald, R. D. 1990. The optical system of fishes. In: *The Visual System of Fish* (Ed. by R. H. & D. M. B. A. Douglas), pp. 45-61. London: Chapman & Hall.
- Fiksen, O., MacKenzie, B. R. 2002. Process-based models of feeding and prey selection in larval fish. *Marine Ecology Progress Series*, 243, 151-164.
- Fuiman L.A., Magurran A.E. 1994. Development of predator defenses in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4 (2), 145-83.
- Gerking, S. D. 1994. *Feeding ecology of fish*. San Diego. Academic.
- Harden Jones, F. R. 1963. The reaction of fish to moving background. *The Journal of Experimental Biology*, 40, 437-440.
- Helvik, J. V., Karlsen, O. 1996. The Effect of Light- and Dark-Rearing on the Development of the Eyes of Atlantic Halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) yolk-sac larvae. *Marine and Freshwater Behavioral Physiology*, 28, 107-121.
- Job, S.D., Bellwood, D.R. 1996. Visual acuity and feeding in larval *Premnas biaculeatus*. *Journal of Fish Biology* 48 (5), 952-963.
- Junqueira, L. C. U. 1983. *Técnicas básicas de citologia e histologia*. São Paulo. Ed. Santos.
- Poling, K. R., Fuiman, L. A. 1997. Sensory development and concurrent behavioural changes in Atlantic croaker larvae. *Journal of Fish Biology*, 51(2), 402-21.
- Lythgoe, J. N. 1979. *The ecology of vision*. Oxford. Clarendon Press.
- Lythgoe, J. N., Muntz, W. R., Partridge, J. C., Shand, J., Williams, D. M. 1994. The ecology of the visual pigments of snappers (Lutjanidae) on the Great Barrier Reef. *The Journal of Comparative Physiology A*, 174, 461-467.
- Margulies, D. 1989. Size-specific vulnerability to predation and sensory system development of white seabass, *Atractoscion nobilis*, larvae. *Fishery Bulletin*, 87, 537-552.
- Mason, D. M., Brandt, S. B. 1996. Effects of spatial scale and foraging efficiency on the predictions made by spatially-explicit models of fish growth rate potential. *Environmental Biology of Fishes*, 45, 283-298.
- Mazur M.M., Beauchamp D.A. 2003 A comparison of visual prey detection among species of

- piscivorous salmonids: effects of light and low turbidities. *Environmental Biology of Fishes*, 67, 397-405.
- Metcalfe, W. K., Kimmel, C. B., Schabtach, E. 1985. Anatomy of the posterior lateral line system in young larvae of the zebrafish. *The Journal of Comparative Neurology*, 233 (3), 377-389.
- Neave DA. 1984. The development of visual acuity in larval plaice (*Pleuronectes platessa* L.) and turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 78 (1-2), 167-75.
- Otsuka, M., Nagai, S. I. 1997. Neuromast formation in the prehatching embryos of the cod fish, *Gadus macrocephalus*. *Zoological Sciences*, 14, 475-481.
- Pankhurst, P. M. 1994. Age-related changes in the visual acuity of larvae of New Zealand snapper, *Pagrus auratus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 74, 337-349.
- Pankhurst, P. M., Eagar, P. 1996. Changes in visual morphology through life history stages of the New Zealand snapper, *Pagrus auratus*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 30, 79-90.
- Peterson, J. H., Gadomski, D. M. 1994. Light-mediated predation by northern squawfish on juvenile Chinook salmon. *Journal of Fish Biology*, 45, (Suppl.A):227-242.
- Powers, M. K., Raymond, P. A. 1990. Development of the visual system. In: *The Visual System of Fish* (Ed. by R. H. & D. M. B. A. Douglas), p.419-442. London. Chapman & Hall.
- Rahmann, H., Jeserich, G. 1978. Quantitative morphogenetic investigations on fine structural changes in the optic tectum of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) during ontogenesis. *Wilhelm Roux's Archives*, 184, 83-94.
- Santos, J. E., Godinho, H. P. 2002. Ontogenic events and swimming behavior of larvae of the characid fish *Salminus brasiliensis* (Curvier) (Characiformes, Characidae) under laboratory conditions. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19, (1):163-171.
- Shand, J. 1994. Changes in retinal structure during development and settlement of the goatfish *Upeneus tragula*. *Brain, Behavior and Evolution*, 43, 51-60.
- Wanzenbock, J. S. F. 1989. Prey detection in cyprinids during early development. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46, 995-1001.
- Yasutake, W. T., Wales, JH. 1983. *Microscopic Anatomy of salmonids: An Atlas*. Washington, D.C. U.S. Fish and Wildlife Service; (Resource publication: 150.).
- Zaniboni Filho, E., Barbosa, N. D. C. 1996. Priming hormone administration to induce spawning of some brazilian migratory fish. *Revista Brasileira de Biologia*, 56, (4), 688-659.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Dos resultados obtidos:

- O estudo mostrou que do fornecimento de presas de menor tamanho pôde-se obter um bom crescimento e manter as taxas de canibalismo abaixo do 10% nos primeiros nove dias de larvicultura. Isto poderia ser considerado para produção a grande escala de larvas, como também o número de presas que as larvas consumiram para cada fase de crescimento nestes primeiros dias de desenvolvimento.
- Dado que, a partir das medidas da acuidade visual se propõe densidades de presas que poderiam ser testadas na larvicultura, com o qual facilitar-se-iam os encontros entre larvas de dourado e as presas; e possivelmente minimizariam-se os eventos de canibalismo.

De futuras pesquisas:

- Tendo conhecimento, mediante este estudo, que no período inicial de desenvolvimento das larvas de dourado a visão é importante, mas não é fundamental para a detecção e captura de presas, poder-se-ia realizar futuras pesquisas para avaliar o sistema de mecanorreceptores que estaria sendo utilizado para a localização e captura do alimento.
- Seria interessante testar larvicultura de dourado em ambientes de intensidade de luz um pouco abaixo da faixa considerada fotópica o que poderia minimizar o canibalismo entre larvas de dourado, enquanto que as presas não teriam a capacidade de detecção dos predadores e o comportamento de evasão seria deste modo minimizado.

BIBLIOGRAFIA DA INTRODUÇÃO GERAL

- ATENCIO-GARCÍA V. J. 2000. Influencia da primeira alimentação na alevinagem do yamú *Brycon siebenthalae* (Eiganmann, 1912). Dissertação de Mestrado em Aqüicultura. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina.
- BARAS, E. 1999. Sibling cannibalism among juvenile vundu under controlled conditions. I Cannibalistic behaviour, prey selection and prey size selectivity. *Journal of Fish Biology*, **54**, 82-105.
- BARAS, E., NDAO, M., MAXI, M. Y. J., JEANDRAIN, D., THOME, J. P., VANADEWALLE, P., MELARD, C. 2000. Sibling cannibalism in dorada under experimental conditions.. I. Ontogeny, dynamics, bioenergetics of cannibalism and prey size selectivity. *Journal of Fish Biology*, **57**(4), 1001-1020.
- BARAS, E, JOBLING, M. 2002 Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquaculture Research*. **33** (7), 461-479.
- BLAXTER, J. H. S. 1986. Development of sense-organs and behavior of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. *Transactions of the American Fisheries Society*, **115**, (1):98-114.
- BOEUF G, LE BAIL P. 1999. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, **177**, 129-52.
- BORGHETTI, N.R.B. et al. *Aqüicultura – Uma visão geral sobre a produção de organismos aquáticos no Brasil e no Mundo*. Curitiba: Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais: 2003.
- CARVALHO, P. S. M., NOLTIE, D. B., TILLITT, D. E. 2002. Ontogenetic improvement of visual function in the medaka *Oryzias latipes* based on an optomotor testing system for larval and adult fishes. *Animal Behavior*, **64**, 1-10.
- CARVALHO P.S.M., NOLTIE D.B., TILLITT D.E. 2004. Biochemical, histological and behavioural aspects of visual function during early development of rainbow trout. *Journal of Fish Biology* **64** (4), 833-850.
- CASTAGNOLLI, N. 1992. **Criação de Peixes de água doce**. Jaboticabal. FUNEP.
- CECCARELLI P. S. 2002. Canibalismo em larvas de dourado, *Salminus maxillosus* (Valenciennes, 1849). Tese de Doutorado em Ciências Biológicas. Universidade estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- CECCARELLI P.S., VOLPATO G.L. 1996. Canibalismo em larvas de matrinxã, *Brycon cephalus*: Efeito da densidade e de consorciação com pacu e curimatá. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA. Resumos Sete Lagoas. p p 78.
- DABROWSKI, K. R. 1982. The influence of light intensity on feeding of fish larvae and fry. I. *Coregonus pollan* (Thompson) and *Esox lucius* (L.). *Zoologische Jahrbuecher Abteilung Fuer Allgemeine Zoologie Und Physiologie Der Tiere*, **86**, 341–351.
- EASTER, S. S., NICOLA, G. N. 1996. The development of vision in the zebrafish (*Danio rerio*) . *Dev Biol*, **180**, (2):646-663.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA 2006. Aqüicultura - estratégias. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=aquic:::28>. Acesso em: 16 fevereiro de 2006.
- FAO, 2005. Highlights from the FAO database on aquaculture Production Statistic. *Aquaculture Newsletter* - No33. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/a0057e/a0057e00.pdf>. Acesso

em: 20 fevereiro de 2006.

FESSEHAYE Y, KABIR A, BOVENHUIS H, KOMEN H. in press. Prediction of cannibalism in juvenile *Oreochromis niloticus* based on predator to prey weight ratio, and effects of age and stocking density. *Aquaculture In Press*, Corrected Proof.

FUIMAN L.A., MAGURRAN A.E. 1994. Development of predator defenses in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **4** (2), 145-83.

GERKING, S. D. 1994. **Feeding ecology of fish**. San Diego. Academic.

HARDEN JONES, F. R. 1963. The reaction of fish to moving background. *Journal of Experimental Biology*, **40**, 437-440.

HECHT, T., PIENAAR. A.G. 1993. A review of cannibalism and its implications in fish larviculture. *The Journal of the World Aquaculture Society* **24**, 246–261.

HINSHAW, J. H. 1985. Effects of illumination and prey contrast on survival and growth of larval yellow perch *Perca flavescens*. *Trans. Amer. Fish. Soc.* **114**, 540-545.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA 2004. *Produção brasileira da aqüicultura e pesca, por Estado e espécie, para o ano de 2002*. CEPENE.

JANSSEN J. 1997. Comparison of response distance to prey via the lateral line in the ruffe and yellow perch. *Journal of Fish Biology* **51**(5):921-30.

KESTEMONT, P.; JOURDAN, S.; HOUBART, M.; MELARD, C.; PASPATIS, M.; FONTAINE, P.; CUVIER, A.; KENTOURI, M., AND BARAS, E. 2003. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences: 3rd fish and shellfish larviculture symposium. *Aquaculture*, **227** (1-4),333-356.

KUBITZA F. 1995. Preparo de rações e estratégias de alimentação no cultivo intensivo de peixes carnívoros. In. SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE NUTRIÇÃO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS DO COLEGIO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL. **Anais**. Campos de Jordão: CBNA. pp. 91-115.

MORAIS FILHO, M. B., SCHUBART, O. 1955. **Contribuição ao estudo do dourado (*Salminus maxillosus*, Val) do Rio Mogi Guassu (Pisces, Characidae)**. São Paulo. Ministério da Agricultura.

NAKATANI, K. 2001. **Ovos e Larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e material de identificação**. Maringá. EDUEM.

NEAVE, D.A. 1984. The development of visual acuity in larval plaice (*Pleuronectes platessa* L.) and turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **78** (1-2),167-75.

PINTO, M.L.G., GUGLIELMONI, L.A. 1988. Observações sobre o desenvolvimento e comportamento alimentar de larvas de dourado. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 4.Cuiabá. Brasil: **Resumo**.

SANTOS, J. E., GODINHO, H. P. 2002. Ontogenic events and swimming behavior of larvae of the characid fish *Salminus brasiliensis* (Cuvier) (Characiformes, Characidae) under laboratory conditions. *Revista Brasileira De Zoologia*, **19**, (1):163-171.

SENHORINI J. A. 1999. Biologia larval do matrinxã *Brycon cephalus* (Gunter, 1869) e da piraicanjuba *Brycon orbignayanus* (Valenciennes, 1849) (Pisces, Characidae) em viveiros. Tese de Doutorado. Botucatu - SP.: Universidade Estadual Paulista. 101p.

SMITH C., REAY. P. 1991. Cannibalism in teleost fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **1**, (1):41-64.

WOYNAROVICH E., SATO Y. Criação especial de larvas e pós-larvas de matrinxã (*Brycon lundii*) e de dourado (*Salminus brasiliensis*). In. WORKSHOP ON LARVAL REARING ON FINFISH. ENCONTRO DE LARVICULTURA. 1989. Pirassununga. **Sumario, resumos e apresentações**. Eds.: Harvey B, Carolsefeld J, Canadian International Development Agency (ICSU), Brasil. pp. 134-6.

YASUTAKE, W. T., WALES, J.H. **Microscopic Anatomy of salmonids: An Atlas**. Washington, D. C. U.S. Fish and Wildlife Service. 1983 (Resource publications:150.).

ZANIBONI FILHO, E. 2004 **Piscicultura das espécies nativas de água doce**. In. Poli, C.R., Poli A.T.B., Andreatta. E. Beltrame, E. (Eds). *Aqüicultura - experiências brasileiras*. Multitarefa editora Ltda, Florianópolis, SC, Brasil, pp.337-369.