



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL



**DENSIDADE DE ESTOCAGEM SOBRE O DESEMPENHO ZOOTÉCNICO,
CORTISOL PLASMÁTICO E CUSTO NA LARVICULTURA INTENSIVA DO
PIRARUCU (*Arapaima gigas*)**

THIAGO MACEDO SANTANA

MANAUS-AMAZONAS

Fevereiro, 2019

THIAGO MACEDO SANTANA

**DENSIDADE DE ESTOCAGEM SOBRE O DESEMPENHO ZOTÉCNICO,
CORTISOL PLASMÁTICO E CUSTO NA LARVICULTURA INTENSIVA DO
PIRARUCU (*Arapaima gigas*)**

MANAUS-AMAZONAS

Fevereiro, 2019

THIAGO MACEDO SANTANA

**DENSIDADE DE ESTOCAGEM SOBRE O DESEMPENHO ZOOTÉCNICO,
CORTISOL PLASMÁTICO E CUSTO DE PRODUÇÃO NA LARVICULTURA
INTENSIVA DO PIRARUCU (*Arapaima gigas*)**

Orientador: Ligia Uribe Gonçalves, Dr^a.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal-PPGCAN da Universidade Federal do Amazonas-UFAM como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal.

MANAUS-AMAZONAS

Fevereiro, 2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo autor.

Santana, Thiago Macedo

S232d Densidade de estocagem sobre o desempenho zootécnico, cortisol plasmático e custo na larvicultura intensiva do pirarucu (*Arapaima gigas*) / Thiago Macedo Santana. 2019

45 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Ligia Uribe Gonçalves

Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Peixes amazônicos. 2. carnívoros. 3. cortisol. 4. paiche. 5. produtividade da piscicultura. I. Gonçalves, Ligia Uribe II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

No dia 21 de fevereiro de 2019, às 09:00 horas, na Sala de Aula do PPGCAN, Bloco da Pós-Graduação FCA/ICB, Setor Sul do Campus Universitário da UFAM, Manaus/AM, **Thiago Macedo Santana**, realizou a Defesa de Dissertação de Mestrado intitulada "Densidade de estocagem sobre o desempenho zootécnico, cortisol plasmático e custo de produção na larvicultura intensiva do pirarucu (*Arapaima gigas*)".

Banca Examinadora:

Membros	Parecer	Assinatura
Dra. Ligia Uribe Gonçalves (INPA) – Presidente	Aprovado (X) Reprovado ()	
Dr. Jony Koji Dairiki (EMBRAPA) – Membro	Aprovado (X) Reprovado ()	
Dra. Juliana Tomomi Kojima (IFAM) – Membro	Aprovado (X) Reprovado ()	

Manaus, 21 de fevereiro de 2019

Resultado Final: Aprovado (X)
Reprovado ()



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre ter me pego pela mão, sem me deixar desanimar nos momentos difíceis, pelos ensinamentos, pois tudo tem um propósito na vida e, pelos muitos momentos surpreendentes me proporcionaram grandes alegrias.

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela oportunidade de cursar o Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal (PPGCAN).

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) por proporcionar a estrutura para execução do projeto.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de estudos concedida que nos permitiu realizar este mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio concedido para que pudesse se realizar esta pesquisa.

Ao “Cardume” GIGAS, uma família sem igual, Aline, Guto, Amanda, Driely, Naiara, Claudia, Sunique Poá, Ana Beatriz, Larissa, Rebeca, Vanessa, Flavia, Odair, Dantas e Davison, por toda ajuda, força e amizades construídas.

Aos técnicos e funcionários do INPA por toda contribuição, Maria Inês, Suzana e Fatinha por todo auxílio e pelo carinho que nos dão.

A Prof.^a Dra. Elisabeth Criscuolo Urbinati e sua equipe do Laboratório de Morfologia e Fisiologia Animal (FCAV-UNESP) pelo treinamento em análise de cortisol.

A minha querida orientadora, Prof.^a Dra. Ligia Uribe Gonçalves. Por ser tão especial, de quem tenho grande admiração, por ser muito mais que uma orientadora, sou grato por todo ensino, auxílio, incentivo, apoio, pelos momentos descontraídos que sempre nos proporcionastes e pela confiança.

E a todos que direta e indiretamente me ajudaram até aqui.

Serei para sempre grato.

E por último e não menos importante:

Aos meus pais (Josemar Santana e Terezinha Santana), que me ensinaram, confiaram e me apoiaram em tudo. E mesmo com dificuldades me deram condições de aqui chegar, a eles devo tudo o que tenho e o que sou, pois sempre foram um exemplo de força, coragem, dignidade e caráter.

Aos meus avós maternos, Raimundo Macedo e Maria Zélia Macedo, pelo grande amor, carinho e ajuda para que esse sonho se tornasse realidade.

Às minhas irmãs, Josiane Lopes e Keren Cristina Santana, meu cunhado Daniel Lopes e meu sobrinho Túlio Lorenzo, sou grato pelo amor, apoio e paciência, pelo orgulho que têm de mim e por terem sido as pessoas mais divertidas e agradáveis nos momentos difíceis. Meus presentes de Deus e motivos de muitas alegrias.

Aos meus parentes, tios e tias, primos e primas que sempre estiveram ao meu lado e por sempre me apoiarem.

Aos meus pais, pelos ensinamentos que direcionam minha existência.

As minhas irmãs, pelo amor fraterno.

Meus avós, tios e primos que muito me apoiaram.

Dedico

Filho, aprenda o que eu lhe ensino e nunca esqueça o que mando você fazer.

Escute os sábios e procure entender o que eles ensinam.

Sim, peça sabedoria e grite pedindo entendimento.

Procure essas coisas, como se procurasse

prata ou um tesouro escondido.

Provérbios 2:1- 4

RESUMO

A densidade de estocagem inadequada na piscicultura pode provocar o comportamento de dominância que prejudica a alimentação, resultando em estresse, lotes de peixes heterogêneos e baixos índices produtivos. O objetivo com esse estudo foi avaliar a densidade de estocagem sobre o desempenho zootécnico, nível de cortisol plasmático e custo de produção parcial na larvicultura intensiva de pirarucu (*Arapaima gigas*). Foram utilizadas 900 larvas ($1,32 \pm 0,25$ g; $5,90 \pm 0,33$ cm) de pirarucu treinadas a se alimentarem com ração. Os peixes foram estocados nas densidades de 400; 800; 1200; 1600 e 2000 larvas.m⁻³. E alojados em 15 tanques (50L; n=3), inserido a um sistema de recirculação de água e aeração constante, em um delineamento inteiramente casualizado. As larvas foram alimentadas com ração comercial extrusada (45% Proteína Bruta; Nutripiscis STARTER – Presence[®], 0,8mm) na proporção de 10% da biomassa, divididas em oito refeições diárias durante 30 dias. Ao término do período experimental, os peixes foram medidos e pesados; quatro peixes por tanque foram eutanasiados para análise do cortisol plasmático. Os dados foram submetidos a One-way ANOVA e teste de Tukey (5%). Por último, foi quantificado o custo parcial da larvicultura intensiva com diferentes densidades. Os peixes mantidos na densidade 400 larvas.m⁻³ apresentaram alta taxa de mortalidade (76,67%), com os menores resultados de produtividade, resultando em alto custo de produção. Os animais mantidos na densidade de 2000 larvas.m⁻³ apresentaram maior voracidade durante as alimentações com taxa de sobrevivência de 93,33%, e melhores resultados de desempenho zootécnico: peso final ($12,16 \pm 0,89$ g), ganho de peso ($10,84 \pm 0,89$ g) e taxa de crescimento relativo ($7,69 \pm 0,26\%$). A relação entre a densidade de estocagem e concentração de cortisol foi inversamente proporcional, indicando maiores níveis de estresse para os peixes criados em baixa densidade (400 larvas.m⁻³), o que refletiu nos parâmetros zootécnicos como o peso final ($6,41 \pm 0,77$ g), o ganho de peso ($5,09 \pm 0,76$ g) e taxa de crescimento relativo ($4,61 \pm 1,28\%$). Larvas mantidas na densidade 2000 larvas.m⁻³ apresentaram menor custo de produção (R\$ 6,54) e consequentemente maior receita líquida por larva (R\$ 5,42). Para fase de recria alimentar (5-10 cm), recomenda-se a utilização 2000 larvas.m⁻³, para se obter maior sobrevivência, peixes maiores e mais homogêneos com menor custo de produção por larva produzida.

Palavras-chave: Carnívoros, cortisol, paiche, peixes amazônicos, produtividade da piscicultura

ABSTRACT

Inadequate stocking density in fish larviculture can cause dominance behavior that harms the feeding, resulting in stress, high number of heterogeneous fish and low productive rates. The aim of this study was to evaluate the effect of stocking densities on growth performance, cortisol plasmatic level and partial cost of pirarucu larviculture production. We used 900 pirarucu larvae (1.32 ± 0.25 g; 5.90 ± 0.33 cm) trained to feed inert diet. Fish were stocked at densities of 400; 800; 1200; 1600 and 2000 larvae.m⁻³ and housed in 15 tanks (50 l; n = 3), in a recirculating water system and constant aeration in a completely randomized design. Larvae were fed with extruded commercial diet (45% of crude protein; Nutripiscis STARTER – Presence[®], 0.8 mm) in the proportion of 10% of the biomass, divided into eight meals a day, for 30 days. At the end of the trial period, fish were measured and weighed; four fish per tank were euthanized for analysis of plasma cortisol. Data were subjected to one-way ANOVA and Tukey test (5%). Finally, the partial cost of pirarucu larviculture production was calculated. Pirarucu larvae kept in density of 400 larvae.m⁻³ showed high mortality rate (76.67%), with the poorest results in productivity and highest production cost. Fish reared in the density of 2000 larvae.m⁻³ presented voracity during feeding, survival rate of 93.33%, and the highest zootechnical performance: final weight (12.16 ± 0.89 g), weight gain (10.84 ± 0.89 g) and relative growth rate ($7.69 \pm 0.26\%$). The relation between stocking density and cortisol levels was inversely proportional, indicating higher levels of stress for fish reared at low density (400 larvae.m⁻³), which reflected on the zootechnical parameters as the final weight (6.41 ± 0.77 g), weight gain (5.09 ± 0.76 g) and relative growth rate ($4.61 \pm 1.28\%$). Larvae stocked at 2000 larvae.m⁻³ showed reduced production cost (R\$ 6.54) and consequently higher revenues per larvae (R\$ 5.42). For pirarucu larviculture (5-10 cm), we recommend to use 2000 larvae.m⁻³, which results in higher survival and growth performance, obtaining higher and homogeneous fish with a lower production cost.

Key words: Amazonian fish, carnivorous fish, cortisol, fish farming productivity, fish, paiche

LISTA DE FIGURA

- Figura 1.** Fluxograma dos efeitos primários e secundários do estresse em peixes. Fonte: Silveira et al., 2009..... 20
- Figura 2.** Taxa de sobrevivência de larvas de pirarucu, *Arapaima gigas*, estocadas em diferentes densidades, durante 30 dias. Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... 28
- Figura 3.** Equação linear de primeiro grau da variável Ganho de peso (GP) de larvas de pirarucu (*Arapaima gigas*) criadas em diferentes densidades de estocagem por 30 dias..... 29
- Figura 4.** Juvenis de pirarucu (*Arapaima gigas*) depois de finalizado o período de larvicultura experimental de 30 dias..... 30
- Figura 5.** Médias de Comprimento Final (CF) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR) de larvas de pirarucu, *Arapaima gigas*, estocadas a diferentes densidades, durante 30 dias. Médias na mesma variável seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... 31
- Figura 6.** Relação entre níveis evolução de Cortisol (CO) e as variáveis: Peso (P), Comprimento Final (CF) e taxa de crescimento relativo (TCR)..... 31
- Figura 7.** Médias das concentrações de cortisol plasmático (ng.mL^{-1}) de larvas de pirarucu, *Arapaima gigas*, estocadas a diferentes densidades, durante 30 dias. Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... 32
- Figura 8.** Valores de Receita líquida por juvenil de pirarucu, *Arapaima gigas*, que foram estocadas em diferentes densidades, por um período de 30 dias..... 34

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Densidades de estocagem para juvenis de pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>) utilizadas em estudos publicados na literatura.....	18
Tabela 2. Composição bromatológica da ração fornecida às larvas de pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>) durante o período experimental. Ração Nutripiscis STARTER 45 – Presence®	23
Tabela 3. Equações para avaliação de desempenho zootécnico.....	24
Tabela 4. Desempenho zootécnico de larvas de pirarucu, <i>Arapaima gigas</i> , criadas em diferentes densidades durante 30 dias.....	27
Tabela 5. Análise de custo com alimentação na larvicultura do pirarucu, <i>Arapaima gigas</i> , criadas em diferentes densidades de estocagem, durante 30 dias.....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Geral.....	17
2.2 Específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>).....	18
3.2 Densidade de estocagem na piscicultura.....	19
3.3 Estresse em peixes.....	20
3.4 Ação do cortisol no organismo dos peixes.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1 Local e Peixes.....	24
4.2 Condições Experimentais.....	24
4.3 Dieta.....	24
4.4 Monitoramento da qualidade de água.....	25
4.5 Desempenho zootécnico.....	26
4.6 Análise de cortisol.....	26
4.7 Custo de Produção Parcial.....	26
4.8 Análise estatística.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1 Desempenho zootécnico.....	28
5.2 Análise de cortisol.....	33
5.3 Custo de Produção Parcial.....	35
6. CONCLUSÃO.....	37
7. REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a estimativa da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2016), a produção brasileira da pesca e aquicultura deve aumentar em 104% até 2025, seis vezes superior aos 17% do crescimento mundial. O aumento da produção aquícola brasileira somente será possível com o contínuo investimento em pesquisas, que propiciem o melhor entendimento das necessidades das espécies animais, como atendimento das interações sociais e comportamento nas fases iniciais, além das condições mínimas necessárias para o bom desenvolvimento da espécie, que resulte em alta oferta de juvenis saudáveis destinados para a fase de engorda.

O Brasil possui várias espécies de peixes com potencial para produção aquícola. Segundo o IBGE (2015), são utilizadas 17 espécies na piscicultura brasileira, dentre estas, o pirarucu (*Arapaima gigas*) é considerada a oitava espécie mais produzida no país. A produção de pirarucu passou de mil toneladas em 2011 para 4,2 mil toneladas em 2017. Esse expressivo interesse na sua criação está relacionado às suas características biológicas, como respiração aérea (a partir da fase juvenil), alto desempenho zootécnico como rápido crescimento (por volta de 10 kg por ano), bom rendimento de carcaça (57%), carne de coloração levemente rosada, textura firme, baixo teor de gordura e ausência de espinhos intramusculares (Ono, 2004; Pereira-Filho & Roubach, 2010; Fogaça et al. 2011; IBGE, 2018).

Apesar de o pirarucu apresentar grande potencial aquícola, ainda existem diversos desafios a serem sanados para que a sua cadeia produtiva se consolide, como por exemplo, a baixa oferta de juvenis. Ainda não há domínio sobre as técnicas induzidas de reprodução de pirarucu, e que atualmente, acontece naturalmente em viveiros (Lima et al., 2015). Além disso, o manejo e alimentação inadequados nas fases iniciais resultam em baixas taxas de sobrevivência de juvenis (Rodrigues et al., 2015).

Nosso grupo de pesquisa vem estudando a possibilidade de capturar as larvas de pirarucu logo depois da insuflação da bexiga natatória e criá-las em condições intensivas *indoor*, pois é comum dos aquicultores capturarem as larvas de pirarucu quando atingem sete centímetros de comprimento total (Halverson, 2013; Pereira-Filho e Roubach, 2010). Contudo, essa ação resulta em elevadas taxas de mortalidade devido à falta de alimentação viva suficiente, oscilações nas variáveis limnológicas e a presença de predadores (insetos aquáticos, pássaros e morcegos) e patógenos (Gonçalves et al., 2019). Pois a espécie apresenta alto valor econômico tanto para piscicultura (R\$ 1,00/cm) quanto como espécie ornamental (R\$ 80 por peixe). Para que a larvicultura intensiva obtenha sucesso, dados básicos devem ser

estabelecidos, como a densidade dos animais, pois esse fator interfere no comportamento dos peixes provocando alterações na agressividade e perseguição social, gerando maior exigência metabólica e interferindo no comportamento alimentar dos peixes. Dessa forma, a densidade de estocagem pode atuar como agente estressor aos peixes, interferindo na resposta imunológica e, conseqüentemente, atuando no crescimento e sobrevivência dos animais (Iwamoto, 1986; Stickney, 1994; Lefrançois, 2001).

Algumas espécies de peixes, como juvenis de *Colossoma macropomum* (Brandão et al., 2004), *Acipenser schrenckii* (Zhu et al., 2011), *Rhamdia quelen* (Pouey et al., 2011), *Anabas testudineus* (KhatuneJannatet al. de 2012), apresentam maiores taxas de crescimento e alta sobrevivência quando criados em densidades baixas (50 – 200 peixe.m⁻³), contudo a produção por área é reduzida (Gomes et al., 2000). Contrariamente, peixes mantidos em altas densidades geralmente apresentam menor taxa de crescimento (El-Sayed, 2002), ficam estressados, e estão sujeitos ao surgimento de interações sociais que causam um lote de tamanho heterogêneo (Cavero et al., 2003), como observado no salmão do Atlântico (*Salmo salar*) com o surgimento de classes hierárquicas, que se alimentam primeiro e consomem a maior quantidade de alimento (MacLean & Metcalfe, 2001).

As formas jovens do pirarucu apresentam forte comportamento gregário nas fases iniciais (Crescêncio, 2001), com comportamento voraz durante a alimentação. Na fase adulta a interação social entre animais fora da época reprodutiva é distinta e a convivência é pacífica. Os casais interagem com outros peixes, pois formam casais monogâmicos (Halverson, 2013), porém na época reprodutiva há grandes disputas por território.

Tendo em vista que não há determinação de parâmetros mínimos para a larvicultura intensiva do pirarucu, o objetivo com esse estudo foi avaliar a densidade de estocagem sobre o desempenho zootécnico, concentração de cortisol plasmático e custo parcial de produção durante a larvicultura intensiva do pirarucu.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral:

- Avaliar a influência de diferentes densidades de estocagem na produtividade da larvicultura intensiva do pirarucu.

2.2 Específicos:

- Avaliar o efeito da densidade de estocagem sobre o desempenho zootécnico;
- Analisar as concentrações plasmáticas de cortisol dos peixes criados nas diferentes densidades;
- Determinar o custo de produção parcial por larva em cada densidade de estocagem.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pirarucu (*Arapaima gigas*)

A ordem Osteoglossiformes possui seis famílias, 29 gêneros e cerca de 217 espécies. As principais características desta ordem são animais com “língua óssea” e nadadeiras anal e dorsal geralmente alongadas, sendo o *Arapaima gigas* ou o pirarucu, o seu maior representante. O pirarucu é o maior peixe de escama de água doce da América do Sul, podendo alcançar três metros de comprimento e 200 Kg de peso vivo, por isso é conhecido como o gigante da Amazônia. Sua carne tem grande aceitação no mercado nacional, sendo considerado um peixe de alta qualidade (Cortegano et al., 2017) e, quando salgado, é conhecido como bacalhau da Amazônia (Chu-Koo et al., 2008; Andrade et al., 2007).

O pirarucu tem melhor desenvolvimento em temperaturas variando de 24 a 31°C e, por possuir a capacidade de captar oxigênio diretamente do ar (Santos et al. 2008), adapta-se muito bem em águas com baixas concentrações de oxigênio dissolvido (Drumond et al., 2010). É uma espécie que apresenta comportamento gregário, cuidado parental e sua reprodução acontecem em águas paradas (Bard e Imbira, 1986; Montero et al. 2010).

A produção de pirarucu em cativeiro vem sendo estimulada por vários motivos, dentre eles, sua proibição de captura no ambiente natural durante o todo ano (Instruções Normativas Nº 34, de 18 de junho de 2004 e Nº 1, de 1º de junho de 2005). Essa proibição estadual somada a inserção na lista da “Convenção de Comércio Internacional das Espécies da Flora e da Fauna Selvagens em Perigo de Extinção (CITES - Apêndice II)”, que inclui espécies que podem vir a se tornar extintas (CITES, 2015), tornam a piscicultura da espécie como alternativa para o aumento dos estoques naturais e oferta deste pescado no mercado nacional.

Para aquicultura, o pirarucu é uma espécie com características desejáveis tanto para fins comerciais quanto para criação, com carne de ótima qualidade, coloração levemente rosada, sabor suave, rendimento de filé acima de 50% e sem espinha intramuscular. É uma espécie rústica, de rápido crescimento (alcançando 10 kg no primeiro ano), com capacidade de suportar altas densidades de estocagem (Imbiriba, 2001; Bradão et al., 2006; Fogaça et al. 2011).

Apesar de todas as características positivas para a criação do pirarucu, existem muitos desafios que impedem o aumento da sua produção, sem dúvida, o maior deles é a obtenção de formas jovens. Ainda não há tecnologia para a reprodução artificial da espécie, o que ocasiona baixa oferta de juvenis, e conseqüentemente o seu elevado custo. Somado a isso, há necessidade de melhorar a estratégia alimentar das fases iniciais, bem como estudar suas

principais enfermidades e exigências nutricionais nas várias fases do desenvolvimento (Campos et al., 2012; Lima et al., 2015) para que a produção do pirarucu possa alavancar. Para isso, informações básicas, como a densidade de estocagem, precisam ser estabelecidas.

3.2 Densidade de estocagem na piscicultura

Na produção animal tem se buscado a intensificação dos sistemas de criação. Na piscicultura, o aprimoramento da produção está almejando atingir maior produtividade, com menor uso de terra, em menor tempo, com baixo ou nenhum impacto ambiental e custo racionalizado (Boaratti, 2018).

Em criações com sistemas intensivos de produção de peixes, a densidade de estocagem é considerada um dos principais fatores biológicos que afetam a produtividade na aquicultura. Desta forma, é essencial a determinação de uma adequada densidade de estocagem para ótima exploração e rápido crescimento da piscicultura (Gomes & Schlindwein, 2000; Brandão et al., 2004; Oliveira & Galhardo, 2007; Nagata et al., 2010).

Inúmeras variáveis produtivas são influenciadas pela densidade de estocagem dos peixes, que muitas vezes determinam o comportamento relacionado a interações sociais. Assim, a determinação de hierarquia, o territorialismo e o estresse podem ser alterados de acordo com a densidade de estocagem, influenciando diretamente o desempenho zootécnico dos peixes e o retorno financeiro do capital investido (Lambert & Dutil, 2001).

A densidade de estocagem adequada indica o maior número de peixes que pode ser produzido de maneira apropriada em certo tanque de criação, o maior rendimento do espaço ocupado pelo peixe e menores custos de produção em relação ao capital investido. A produção eficiente é considerada como o peso e/ou tamanho do peixe aceito pelo mercado consumidor que pode ser atingido com uma conversão alimentar adequada num período razoavelmente curto (Hengsawat et al., 1997; Schmittou, 1997; Gomes & Schlindwein, 2000).

A densidade de estocagem ideal varia de acordo com as espécies, o tamanho de comercialização, o sistema de criação e as fases de vida dos peixes (Wallace et al., 1988). Para algumas espécies de peixes, baixas densidades resultam em maiores taxas de crescimento e sobrevivência, porém os animais podem acumular mais gordura, em razão da maior oferta de ração e da menor competição por alimento, ainda acarreta a um subaproveitamento de área para a criação dos peixes, levando ao comportamento de territorialismo o que induz a agressividade, como no caso de tilápia e trutas (Gomes et al., 2000; Piaia & Baldisserotto, 2000; Schwedler & Johnson, 2000; Lazzari et al., 2011).

Baixas densidades de estocagem aumentam o crescimento de larvas do bagre Africano (*Clarias gariepinus*) em aquários e alevinos do bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) em viveiros (Esquivel et al., 1997). Em juvenis de robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*), foi verificado que as densidades de 5 e 10 peixes.L⁻¹ resultam em maior sobrevivência, sendo o canibalismo a principal causa de mortalidade (Hatzithanasiou et al., 2002).

Por outro lado, à criação em altas densidades pode levar a rápida degradação na qualidade da água, devido à concentração de excreção nitrogenada, principalmente no caso de espécies carnívoras, o que pode prejudicar o desempenho dos peixes, além de outros fatores como: competição por alimento, práticas incorretas de manejo alimentar, falta de espaço para nadar e formação de lotes heterogêneos. Esses fatores podem ser estressantes com impacto direto no sistema imunológico, o que afeta diretamente a taxa de sobrevivência (Jobling, 1994; Schwedler & Johnson, 2000; Kestemont & Baras, 2001; Salaro et al., 2003).

Contudo, o aumento das densidades causa uma melhora nos índices de conversão alimentar, diminuição na heterogeneidade entre os peixes, e aumento da biomassa total, gerando maior retorno sobre os investimentos em estruturas, equipamentos e alimentação (Hengsawat et al., 1997; Salaro et al., 2003; Ayroza et al., 2011).

Existem várias recomendações para densidade de estocagem para juvenis de pirarucu, porém as que foram realizadas através de ensaio experimentais são as que estão apresentadas na Tabela 1. As densidades variaram de acordo com o peso no início da criação, os dados encontrados na literatura são para as fases iniciais da recria, com tamanho variando de 10 g a 100 g, e densidade de estocagem variando de 5 a 25 peixe.m⁻³. Não há referências para densidade inicial com peso de peixe menor que 10 g.

Tabela 1. Densidades de estocagem para juvenis de pirarucu (*Arapaima gigas*) utilizadas em estudos publicados na literatura.

Peso inicial	Comprimento inicial	Densidade	Referência
10 g	12,0 cm	25 peixes.m ⁻³	Cavero et al., 2003
15 g	-	25 peixes.m ⁻³	Halverson, 2013
51 g	19,5 cm	5 peixes.m ⁻³	Luxinger, 2015
80 g	-	1 peixe.m ⁻²	Imbiriba, 2001
100 g	24,0cm	10 peixes.m ⁻³	Oliveira et al., 2012

3.3 Estresse em peixes

A densidade de estocagem é considerada um dos fatores responsáveis pelo estresse (Ellis et al., 2002; North et al., 2006; Barreto, 2011). Principalmente em peixes que

apresentam fortes comportamentos sociais, ou seja, que se organizam em territórios e estabelecem uma hierarquia de dominância (Zayan, 1991; Silva, 2010). Frequentemente há casos de indivíduos dominantes, os quais possuem acesso prioritário aos principais recursos tais como alimento, território e parceiro sexual (Huntingford & Chellappa, 2006; Johnsson et al., 2006).

A reação dos peixes a uma fonte de estresse pode acontecer de diferentes maneiras, para Silva et al. (2010), há dois momentos: primeiro os efeitos que ameaçam ou perturbam o equilíbrio homeostático e, em seguida, o desencadeamento de diversas respostas fisiológicas compensatórias e adaptativas, visando a superação das ameaças. Já Moberg (1985), separou em três momentos: primeiramente ocorre o desequilíbrio na homeostase; em seguida, o organismo reage em resposta ao estresse e, por último, ocorrem às consequências fisiológicas e comportamentais.

As fontes que causam estresse aos peixes podem ser as mais diversas como: alteração nas variáveis de qualidade da água (químicas e físicas), transporte, o confinamento, o manejo e estresse social que são percebidos pelos animais através da presença de predadores e peixes dominantes (Fernandes & Volpato, 1993; Barton, 1997; Chandroo et al., 2004; Costa et al., 2004; Moraes et al., 2004).

Vários autores consideram o próprio contexto social em que os peixes vivem como a principal fonte de estresse, a simples percepção da presença de indivíduos dominantes no ambiente de confinamento gera um estado de estresse em peixes subordinados que provavelmente envolve o estado de medo e inibe a expressão do comportamento natural (Oliveira & Galhardo, 2007; Oba et al., 2009).

A manifestação aos agentes estressores pode ter diferentes intensidades, tendo interferência de vários fatores como espécie, animais nascidos em meio natural ou em cativeiro, condições ambientais, carga genética e também pode ter duração variável. Desta forma, a exposição moderada a fatores estressantes (estresse agudo), costuma gerar nos peixes uma resposta adaptativa, tornando ao equilíbrio da homeostase (Oliveira & Galhardo, 2007).

Se a exposição ao agente estressor foi intensa ou prolongada (estresse crônico), como no caso de estresse causado por densidade de estocagem, o peixe não consegue se recompor, podendo gerar consequências negativas para o seu estado de saúde, no estado crônico, havendo o risco de se tornarem letais para os indivíduos (Barton & Iwama, 1991; Barton, 2000; Conte, 2004).

Quando os peixes são acometidos por fatores estressantes por curto período (estresse agudo) não há grandes alterações fisiológicas no organismo do peixe. Porém, quando

mantidos em períodos prolongados de situações estresses (estresse crônico), o peixe apresenta queda no rendimento produtivo e/ou diminuição da resistência imunológica, podendo gerar doenças e mortalidade (Barton & Iwama, 1991; Silva, 2010; Sanches, 2013).

O processo fisiológico de estresse (Figura 01) acontece a partir do desencadeamento da Síndrome de Adaptação Geral (SAG), sendo dividida em três respostas: Primárias que são as respostas hormonais, caracterizada por aumento significativo dos hormônios corticosteróides (cortisol) e catecolaminas (adrenalina e noradrenalina), que estimulam a hidrólise das reservas de glicogênio hepático e muscular, caracterizando as respostas secundárias; respostas secundárias que são as mudanças nos parâmetros fisiológicos e bioquímicos, aumento da glicose no sangue, aumento da frequência cardíaca, diminuição da proteína muscular; e as respostas terciárias que são o comprometimento no desempenho, mudança no comportamento e aumento da suscetibilidade a doenças (Kubitza, 1997; Lima et al., 2006; Bradão et al., 2006).

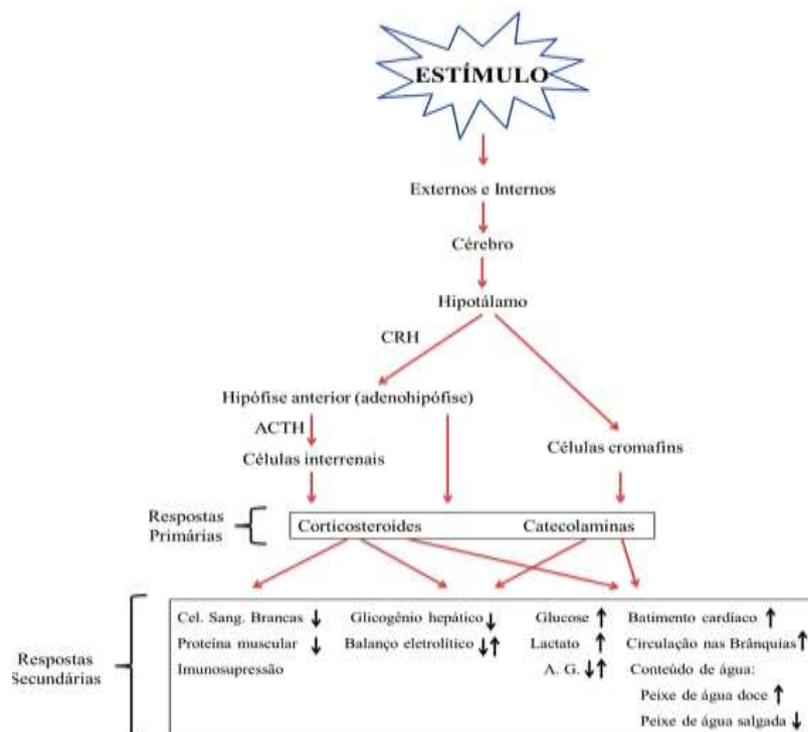


Figura 1. Fluxograma dos efeitos primários e secundários do estresse em peixes. Fonte: Silveira et al., 2009

O pirarucu parece apresentar maior tolerância ao estresse quando comparado à outras espécies amazônicas, pois quando submetidos ao estresse por transporte, sua concentração de cortisol plasmático foi aumentada apenas após 24h do desafio ($35,8 \pm 7,1 \text{ ng.mL}^{-1}$). Ao

contrário, do tabaco (Gomes et al., 2003) e da matrinxã (Carneiro & Urbinati, 2001) que apresentam elevação no cortisol logo após o transporte (Brandão et al., 2006).

3.4 Ação do cortisol no organismo dos peixes

A ação do cortisol no organismo dos peixes gera alterações bioquímicas e fisiológicas (Silva, 2010) por meio de suas funções mineralocorticoide e glicocorticoide (Pickering, 1981). Pela ação de mineralocorticoide, há alteração na regulação osmótica causando um desequilíbrio iônico, que é gerado pela captação de íons pelas brânquias induzida pelo cortisol (Laurent & Perry, 1989) alterando o balanço hidromineral dos peixes. Este processo ocorre pela diferenciação de células de cloreto nas brânquias dos peixes e pela atividade da enzima sódio-potássio adenosinotri-fosfatase (Na^+/K^+ - ATPase) que participa no transporte ativo de íons sódio e cloreto (Wendelaar Bonga, 1997).

Como glicocorticoide, o cortisol induz ao aumento dos níveis de glicose no sangue (hiperglicemia) isto ocorre pela atividade de dois mecanismos: o estímulo da hidrólise das reservas de glicogênio no fígado (glicogenólise) (Pickering, 1981); e a indução do organismo a sintetizar glicose a partir de precursores não-carboidratos convertendo em piruvato e compostos relacionados entre três e quatro carbonos em glicose (gliconeogênese) (Pickering, 1981; Vijayan et al., 1990; Wendelaar Bonga, 1997; Castro & Fernandes, 2009). Outra consequência da ação do cortisol como glicocorticoide é a lipólise, que quebra lipídeos, aumentando os níveis de ácidos graxos livres no sangue (Sheridan, 1994). Esta ocorrência, juntamente com a gliconeogênese, pode contribuir para a perda de peso durante um estresse crônico (Oba et al., 2009).

Além disso, esta mobilização energética também pode resultar em efeitos deletérios na reprodução e redução no crescimento dos peixes (Duston et al., 2003). O cortisol atua no sistema imunológico e na reação inflamatória em peixes. O sistema imunológico é deprimido pela ação do cortisol, pois este diminui a produção de interleucinas e reduz a mobilização de leucócitos e linfócitos circulantes (Oba et al., 2009). Quanto à resposta inflamatória em peixes, o cortisol inibe a formação de ácido araquidônico diminuindo a síntese de prostaglandinas pela via das cicloxigenases, suprimindo a indução de inflamação, deixando o peixe susceptível as infecções (Bizarro, 2013).

4. Material e Métodos

4.1 Local e Peixes

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Aquicultura da Coordenação de Tecnologia e Inovação (COTEI), do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas-Brasil. Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa no Uso de Animais (CEUA) do INPA (Processo nº 016/2016).

Para esse estudo foi utilizada o termo larva segundo as recomendações de Kendal (1984) e Nakatani (2001), referências utilizadas para definir as fases de desenvolvimento de peixes em estudos de aquicultura. Esses autores caracterizam os juvenis pela completa formação dos raios das nadadeiras e surgimento das escamas, que somente ocorre em pirarucus acima de 10 cm (Dantas et al., 2017).

Larvas de pirarucu foram obtidas de desova natural em viveiro de peixes em piscicultura comercial (Piscicultura São José, Coari/AM). As larvas foram coletadas quando apresentaram a insuflação da bexiga natatória e começaram a nadar até a superfície da água juntamente com o macho reprodutor. As larvas foram transportadas para a estação experimental de aquicultura (COTEI-INPA), nesse momento, apresentavam comprimento médio de 2,3 cm. As larvas foram alimentadas com zooplâncton selvagem coletados em viveiros da Estação de Aquicultura do INPA na concentração de 2.500 microcrustáceos/larva. Quando os peixes atingiram o comprimento de 4 cm foi realizada a transição alimentar por co-alimentação, quando foi ofertada quantidades crescentes de ração moída misturada com zooplâncton até completa aceitação da ração, por um período que durou nove dias e, a partir do décimo dia foi ofertado somente ração. No décimo sexto dia após o início da transição alimentar, quando as larvas já estavam se alimentando somente com ração, foram separadas para realização deste experimento.

4.2 Condições Experimentais

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco densidades de estocagem (400; 800; 1200; 1600 e 2000 larvas.m⁻³) e três repetições. Cada repetição foi constituída por um tanque de polietileno (50L) com a quantidade de peixe usada de acordo com cada tratamento avaliado ($1,32 \pm 0,25$ g; $5,90 \pm 0,33$ cm), o sistema fazia parte de um sistema de recirculação de água com filtro biológico e aeração constante.

Os animais já estavam treinados a ingerir ração e foram alimentados com intervalos de duas horas (8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h), por um período 30 dias.

4.3 Dieta

A oferta de ração foi realizada baseada na biomassa das unidades experimentais, com 10% do peso vivo das larvas. No período experimental foram fornecidas duas rações com granulometrias diferentes. Nos primeiros 15 dias, os peixes foram alimentados com ração comercial (micro extrusada) com 45% de proteína bruta (Nutripiscis STARTER 45 – Presence[®]), com pellets de granulometria de 0.8 mm (R\$ 241,00 a saca de 25kg, consulta no mês de maio de 2018). Após esse período, os peixes foram adaptados a ingerir ração comercial extrusada com granulometria de 1.3 mm (R\$ 202,00 a saca de 25kg, mês de maio de 2018), com a mesma marca e formulação (Tabela 2).

Tabela 2. Composição bromatológica da ração fornecida às larvas de pirarucu (*Arapaima gigas*) durante o período experimental.

NUTRIENTE*	UNIDADE	0,8 mm	1,3 mm
Umidade (máx)	%	13	13
Proteína Bruta (mín)	%	45	45
Extrato Etéreo (mín)	%	9	9
Fibra Bruta (máx)	%	3,6	3,6
Matéria Mineral (máx)	%	16	16
Cálcio (máx)	%	3	3
Cálcio (mín)	%	2	0
Fósforo (mín)	%	1	1
Vitamina C (mín)	mg/kg	1500	1500
Vitamina E (mín)	mg/kg	400	400
Amilase (mín)	u/kg	11	11
Betaglucanase (mín)	u/kg	65	65
Celulase (mín)	u/kg	13	13
Fitase (mín)	u/kg	105	105
Pectinase (mín)	u/kg	1400	1400
Protease u/kg	u/kg	240	240
Xilanase (mín)	u/kg	35	35

* Valores fornecidos pelo fabricante (Ração Nutripiscis STARTER 45 – Presence[®])

4.4 Monitoramento da qualidade de água

Diariamente, foi realizada a limpeza dos tanques através da sifonagem dos dejetos e resto de matéria orgânica com renovação de 50% da água. As variáveis físico-químicas da água: temperatura ($28,09 \pm 0,66$ °C), oxigênio dissolvido ($6,39 \pm 0,29$ mg.L⁻¹) e pH ($6,44 \pm 0,43$) foram aferidas no primeiro período do dia (9h) por meio de um equipamento multiparamétrico digital da marca YSI, os quais mantiveram-se dentro da faixa de conforto

para espécie em cativeiro (Cavero et al., 2003; Oliveira et al., 2012). As variáveis químicas: amônia total ($1,28 \pm 0,40 \text{ mg.L}^{-1}$), nitrito ($0,29 \pm 0,15 \text{ mg.L}^{-1}$) foram mensuradas semanalmente diretamente do biofiltro e mantiveram-se dentro da faixa de conforto para criação da espécie (Cavero et al., 2003).

4.5 Desempenho zootécnico

As biometrias foram realizadas no início e ao fim do experimento, com mensuração do comprimento (cm) e do peso vivo (g), após 12h de restrição alimentar. Com os dados tabulados, foram calculadas as variáveis de desempenho zootécnico (Tabela 3):

Tabela 3. Equações para avaliação de desempenho zootécnico.

DESEMPENHO ZOOTÉCNICO		
Sobrevivência	(%)	$\frac{n^\circ \text{ larvas final}}{n^\circ \text{ larvas inicial}} * 100$
Ganho de peso	(g)	$pf - pi$
Ganho de Peso Diário	(g)	$\frac{\text{ganho de peso}}{\text{dias de experimento}}$
Comprimento final	(cm)	$cf - ci$
Taxa de Crescimento Relativo	(%)	$\left[\frac{2.718}{\text{peso}} \right]^{(\frac{[LN(pf) - LN(pi)]}{De})} - 1 * 100$
Fator de condição	K	$\frac{\text{comprimento total}^3}{\text{comprimento total}^3} * 100$
Uniformidade de Lote em peso	(%)	$\frac{Pt}{N} * 100$
Uniformidade de Lote em comprimento	(%)	$\frac{Ct}{N} * 100$

pf – peso no final do experimento; *pi* – peso no início do experimento; *cf* – comprimento no final do experimento; *ci* – comprimento no início do experimento; *Pt* - número total de animais com Peso Total $\pm 10\%$ dentro da média de cada unidade experimental; *Ct* - número total de animais com Comprimento Total $\pm 10\%$ dentro da média de cada unidade experimental; *N* - número de animais na unidade experimental; *De* – dias de experimento.

4.6 Análise de Cortisol

Para análise do cortisol plasmático foram amostradas quatro larvas de cada unidade experimental, no período da manhã (9h). De cada animal foi feita a coleta do sangue com seringa de insulina (1 mL) rinsadas com EDTA por punção caudal. Após a coleta, o sangue foi centrifugado (3000 RPM, 10 min., 4°C), para separação do plasma sanguíneo, e a determinação do cortisol foi realizada pelo método imunoenzimático- ELISA (Cortisol ELISA kit – DRG Diagnóstica), testado e validado para utilização em peixes por Santamaría & Casallas (2007) e Canavello et al. (2011). Não foi possível a realização da análise de

cortisol nas larvas mantidas na densidade de 400 larvas.m⁻³ devido à baixa quantidade de animais, já que nesse grupo houve alta mortalidade.

4.7 Custo de Produção Parcial

A viabilidade econômica da larvicultura intensiva do pirarucu tomou-se como base o preço de aquisição das larvas e o custo com ração (custo de produção parcial) considerando: custo com aquisição das larvas (R\$ 1,00/cm), custo com ração (Ração 0,8 mm R\$ 9,64/kg e Ração 1,3 mm R\$ 8,08/kg) e valor de venda dos juvenis, de acordo com os preços praticados no Estado do Amazonas/Brasil (R\$ 1,00/cm). Para se determinar a lucratividade de cada densidade, os dados do custo da ração somados ao valor de compra das larvas foram descontados do valor de venda de cada unidade experimental, o qual variou de acordo com o peso dos peixes e mortalidade em cada unidade experimental e tratamento.

4.8 Análise Estatística

Todos os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Cramer-von Mises) e homocedasticidade das variâncias (Brown e Forsythe). Os resultados médios de cada réplica experimental foram analisados estatisticamente através da análise de variância paramétrica (one-way ANOVA) e em seguida, submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$). Para as variáveis que não apresentaram dados paramétricos (SO e K), foi aplicado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Por fim, foi realizado a análise de regressão linear simples (Steel & Torrie, 1984).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Desempenho Zootécnico

O aumento da densidade de estocagem provocou um incremento no desempenho zootécnico dos peixes em relação às variáveis de sobrevivência, peso final, ganho em peso, ganho em peso diário, taxa de crescimento relativo, comprimento total e uniformidade de lote em relação ao peso (Tabela 4).

Os peixes mantidos nas densidades de 400 larvas.m⁻³ e 800 larvas.m⁻³ apresentaram desorientação e perda do efeito de cardume, os peixes apresentavam natação mais acelerada e desordenada, ou seja, não apresentavam natação somente em uma direção na borda dos tanques, como é comum nessa fase de desenvolvimento da espécie e observados nos peixes estocados nos tanques das densidades de 1200, 1600 e 2000 larvas.m⁻³. Isso é devido ao comportamento gregário natural apresentado na fase inicial de vida do pirarucu. Na natureza e nos viveiros de piscicultura, esse comportamento é estimulado pelas substâncias secretadas por glândulas cefálicas presente na cabeça dos pais. As glândulas cefálicas secretam feromônios responsáveis por atrair a prole para próximo a cabeças dos pais, peptídeos que servem como nutrientes e proteínas imunocompetentes participam da defesa imunológica, numa fase delicada de diversas mudanças para a larva (Lüling, 1964, Chong, et al., 2005, Holbrook, 2011). Esse comportamento permite aos pais guiarem sua prole para locais de maior concentração de alimento, o que foi observado até o terceiro mês de vida do pirarucu (Castello, 2008). E nesse momento, é observado um comportamento de proteção da prole pela mimetização das larvas com a cor escura da cabeça do pai (Torati, et al., 2017). Na larvicultura *indoor*, as larvas também se mantêm em grupo mesmo com a ausência dos pais, possivelmente, por uma comunicação que exista entre os irmãos (Halverson, 2013).

Tabela 4. Desempenho zootécnico de larvas de pirarucu, *Arapaima gigas*, criadas em diferentes densidades durante 30 dias.

Variáveis	400 larvas.m ⁻³	800 larvas.m ⁻³	1200 larvas.m ⁻³	1600 larvas.m ⁻³	2000 larvas.m ⁻³	Valor de p
Sobrevivência	23,33 ± 5,77 ^c	70,00 ± 15,00 ^b	82,22 ± 2,50 ^{ab}	86,67 ± 5,20 ^{ab}	93,33 ± 4,51 ^a	0,001
Peso média final	5,23 ± 2,11 ^c	6,41 ± 0,77 ^{bc}	9,97 ± 1,94 ^{ab}	10,93 ± 0,92 ^a	12,16 ± 0,89 ^a	0,001
Comprimento médio final	9,31 ± 1,03 ^c	9,99 ± 0,48 ^{bc}	10,72 ± 0,56 ^{bc}	11,50 ± 0,32 ^{ab}	11,97 ± 0,34 ^a	0,002
Ganho em Peso	4,00 ± 2,10 ^c	5,09 ± 0,76 ^{bc}	8,65 ± 1,93 ^{ab}	9,61 ± 0,92 ^a	10,84 ± 0,89 ^a	0,001
Ganho em Peso Diário	0,13 ± 0,07 ^c	0,17 ± 0,02 ^{bc}	0,29 ± 0,06 ^{ab}	0,32 ± 0,03 ^a	0,36 ± 0,03 ^a	0,001
Fator de condição	0,63 ± 0,01 ^a	0,60 ± 0,00 ^a	0,72 ± 0,83 ^a	0,70 ± 0,01 ^a	0,69 ± 0,01 ^a	0,071
Taxa de Crescimento Relativo	4,61 ± 1,28 ^c	5,40 ± 0,41 ^{bc}	6,94 ± 0,66 ^{ab}	7,30 ± 0,30 ^a	7,69 ± 0,26 ^a	0,001
Uniformidade de lote em peso	78,97 ± 8,82 ^a	58,94 ± 9,39 ^b	68,83 ± 4,05 ^{ab}	70,71 ± 3,36 ^{ab}	73,53 ± 3,72 ^{ab}	0,036
Uniformidade de lote em comprimento	91,09 ± 86,09 ^a	86,09 ± 3,16 ^a	89,31 ± 3,16 ^a	89,89 ± 1,02 ^a	91,08 ± 1,05 ^a	0,057

Médias na mesma linha seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. ns = não significativo. Sobrevivência (SO, %), Peso médio final (PF, g), Comprimento médio final (CF, cm), Ganho em Peso (GP, g), Ganho em Peso Diário (GPD, g), Fator de condição (K), Taxa de Crescimento Relativo (TCR, %), Uniformidade de lote em peso (ULp, %) e Uniformidade de lote em comprimento (ULc, %).

A desorientação apresentada nos peixes criados em densidades mais baixas provoca aumento da demanda metabólica e desequilíbrio fisiológico, acarretando em aumento no nível de estresse, que pode ser confirmado pelos mais elevados níveis na concentração de cortisol. E quando esse quadro é prolongado pode levar a morte dos peixes (Hengsawat et al., 1997, Hemelrijk et al., 2015), o que pode explicar a baixa sobrevivência dos peixes estocados nas densidades de 400 larvas.m⁻³ e 800 larvas.m⁻³ (Figura 2).

Assim como as larvas de pirarucu, a larvicultura de trairão (*Hoplias cf. lacerdae*), uma espécie neotropical de hábito carnívoro, apresenta até 96,7% de sobrevivência quando os alevinos são estocados em altas densidades (4 alevinos.m⁻²), sendo justificado que na maior densidade favorecem a formação de grupos na captura de alimentos, colaborando para formação de lotes homogêneos, conseqüentemente, diminuindo o territorialismo entre os peixes e o canibalismo (Salaro et al., 2003). A densidade adequada de criação provoca ausência de dominância, o que contribui para a manutenção da uniformidade dos lotes o que aumenta a produtividade (Hengsawat et al., 1997; Alanara & Brannas 1996).

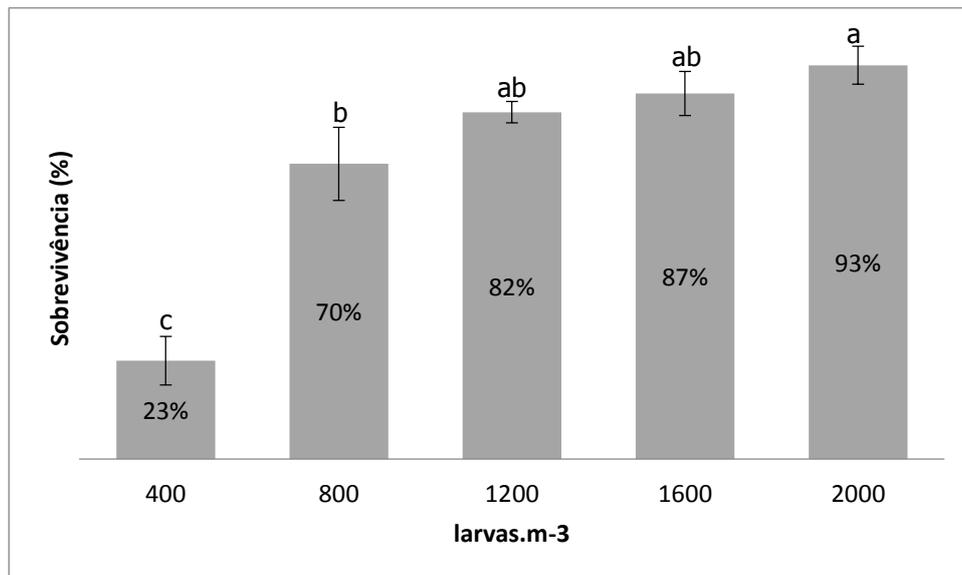


Figura 2. Taxa de sobrevivência de larva de pirarucu, *Arapaima gigas*, estocadas em diferentes densidades, durante 30 dias. Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os dados de ganho de peso se enquadraram numa equação linear de primeiro grau (Figura 3), indicando que conforme o aumento da densidade também há um incremento no peso das larvas. A voracidade no momento da alimentação dos grupos de peixes estocados nas densidades 1200, 1600 e 2000 larvas.m⁻³, pode ser explicada pela competição benéfica entre

os peixes que estão em cardume, resultando em maior consumo de ração e maior crescimento (peso e comprimento) das larvas (Figura 4). Porém, peixes com comportamento de viver em cardume, quando fora de seus grupos, apresentam taxa de alimentação reduzida imediatamente após a separação (Barreto e Volpato, 2011, Lima, et al., 2017

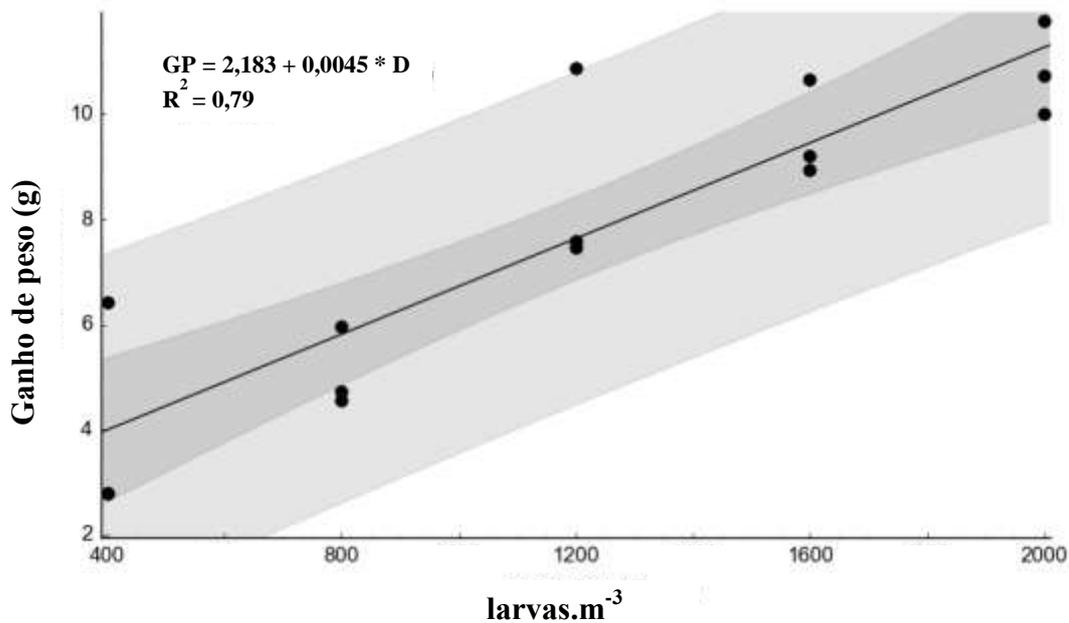


Figura 3. Equação linear de primeiro grau da variável ganho em peso (GP) de larvas de pirarucu (*Arapaima gigas*) criadas em diferentes densidades de estocagem por 30 dias.

Assim, as densidades de estocagem de 400 e 800 larvas.m⁻³ não foram suficientes para formação de um cardume, o que também prejudicou o comportamento alimentar dos peixes e refletiu no baixo desempenho zootécnico desses grupos. Pois peixes que apresentam comportamento gregário, em densidades de estocagem inadequadas, favorecem peixes dominantes que monopolizam o alimento e o consomem primeiro, como é o caso do salmão do Atlântico (MacLean & Metcalfe, 2001).



Figura 4. Juvenis de pirarucu (*Arapaima gigas*) depois de finalizado o período de larvicultura experimental de 30 dias.

O pirarucu é uma espécie que apresenta um crescimento acelerado, principalmente nas fases iniciais (Bard & Imbiriba, 1986; Gonçalves, 2013). Em um ensaio realizado com larvas de pirarucu (0,78 g; 4,85 cm), foram comparados dois sistemas de larvicultura (água clara e bioflocos) por 31 dias, as larvas apresentaram TCR de 5,34% e 5,01%, em densidade de 1250 larvas.m⁻³ (Dantas, 2018). No presente estudo as TCR variaram de 4,61 - 7,69%, validando a influência da densidade de estocagem no desempenho das larvas de pirarucu alimentadas com ração (Figura 5).

Em um experimento, larvas de pirarucu (0,03 g; 2,09 cm), foram alimentadas com três tipos de alimento vivo (artêmia, zooplâncton rico em cladocera e zooplâncton rico em ostracoda), foi observado uma TCR de 36,39%, 35,96% e 21,02%, respectivamente, mostrando a elevada taxa de crescimento da espécie nas fases iniciais e quando alimentadas com alimento vivo (Gonçalves et al., 2019).

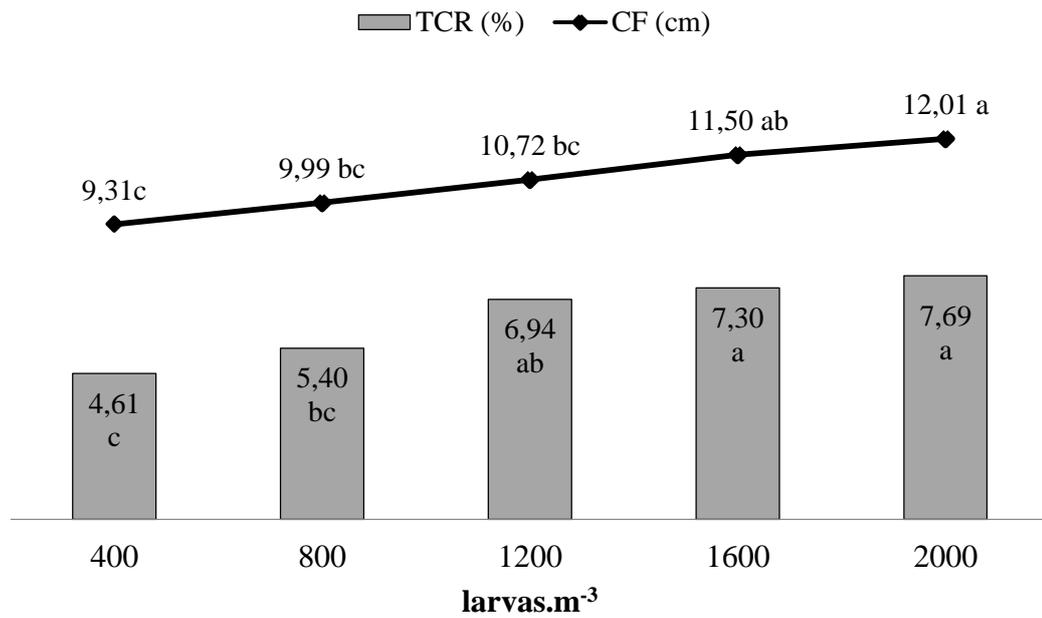


Figura 5. Médias de Comprimento final (CF) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR) de larvas de pirarucu, *Arapaima gigas*, estocadas a diferentes densidades, durante 30 dias. Médias na mesma variável seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5.2 Análise de cortisol

O aumento da densidade de estocagem influenciou na produção de cortisol das larvas. Houve relação inversamente proporcional entre a concentração de cortisol plasmático e as variáveis de taxa de crescimento relativo, peso, comprimento final, (Figura 6).

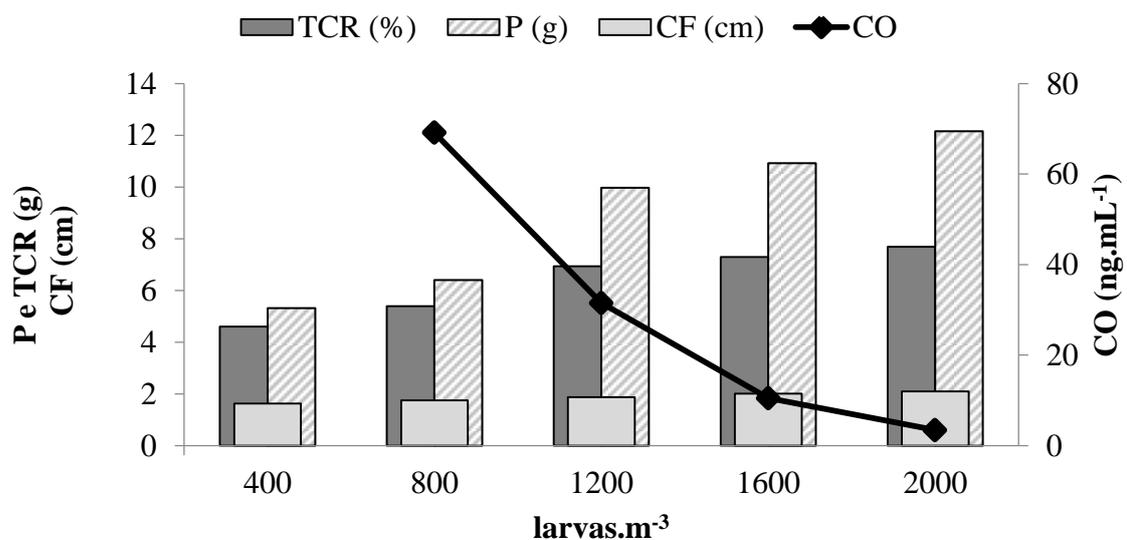


Figura 6. Relação entre a evolução de Cortisol (CO), e as variáveis: Peso (P), Comprimento Final (CF) e taxa de crescimento relativo (TCR).

A ausência do efeito de cardume provoca um estado de perturbação nas larvas de pirarucu, resultando em piores valores de desempenho zootécnico devido ao estresse crônico, confirmado pelos níveis elevados de cortisol plasmático na densidade 800 larvas.m⁻³ (Figura 7). O estresse crônico leva o animal à fase de exaustão, quando ocorre redução na resistência imunológica, deixando o animal mais susceptível a ser infectado por patógenos oportunistas. (Ellis et al., 2002; Lima et al., 2006).

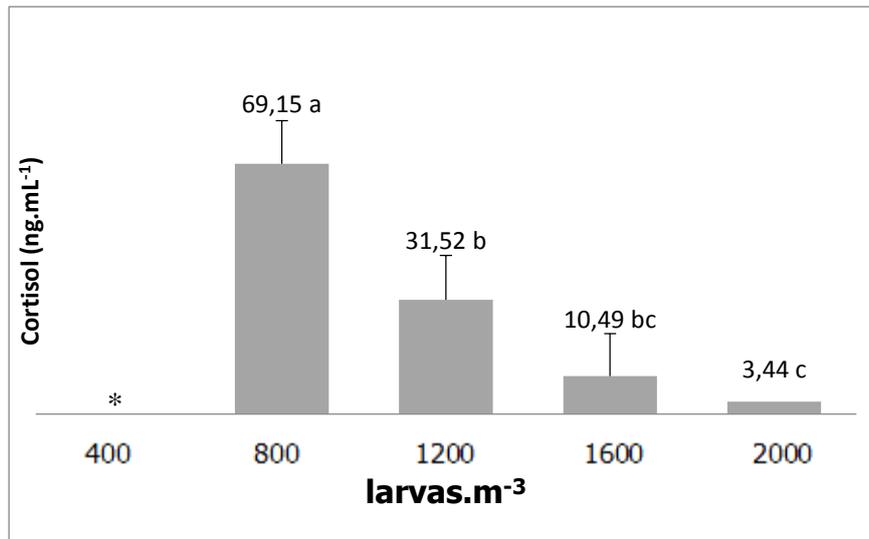


Figura 7. Médias das concentrações de cortisol plasmático (ng.mL⁻¹) de juvenis de pirarucu, *Arapaima gigas*, estocadas a diferentes densidades, durante 30 dias. Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. * não houve animais suficientes para coleta de sangue.

Os corticosteroides quando aplicados em peixes apresentam influência negativa no desempenho dos animais (Vijayan et al., 1989; Foo & Lam, 1993; Mathiyalagan et al., 1996). O cortisol e catecolaminas quando liberados em excesso na corrente sanguínea, iniciam os processos metabólicos para a produção de energia extra, como processo de fuga e/ou de adequação às novas condições, causando subsequentemente perda de peso (Iwama et al. 2004; Jobling et al., 1993). Da mesma forma, peixes estocados em densidades muito elevadas também podem apresentar estresse crônico (Jobling, 1994, Schwedler & Johnson, 2000; Silva, 2010; Sanches, 2013), porém essa fase não foi alcançada nesse trabalho.

Wedemeyer et al. (1990) indica que concentrações basais de cortisol de peixes em repouso devem ser inferiores a 40 ng.mL⁻¹ o que corrobora com o relatado por diversos autores (16,43 a 46,32 ng.mL⁻¹) (Barcellos et al., 1999; Volpato & Barreto, 2001; Biswas et al., 2004; Sanches, 2013). Especialmente para o pirarucu, Brandão et al. (2006) determinaram

a concentração de cortisol em $8,7 \pm 3,7 \text{ ng.mL}^{-1}$ para peixes em homeostase (Brandão et al., 2006). Assim, os peixes estocados nas densidades 1200, 1600 e 2000 larvas.m⁻³, apresentaram concentrações de cortisol menores do que 40 ng.mL^{-1} , indicando não estarem em condições de estresse.

5.3 Custo de Produção Parcial

O comprimento final das larvas foi diretamente influenciado pela densidade de estocagem. Peixes estocados na densidade 2000 larvas.m⁻³ apresentaram maior comprimento e sobrevivência, proporcionando maior receita total, produtividade em comprimento e custo total (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de custo com alimentação na larvicultura do pirarucu, *Arapaima gigas*, criadas em diferentes densidades de estocagem, durante 30 dias.

Variáveis		Densidade de estocagem larvas.m ⁻³				
		400	800	1200	1600	2000
Estocagem inicial						
Sobrevivência	%	23	70	82	87	93
Produção Final	Juvenil	92	560	984	1392	1860
Comprimento médio	cm	9,30	9,99	10,72	11,50	11,97
Preço de venda	R\$/cm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preço Final médio	R\$	9,30	9,99	10,72	11,50	11,97
CUSTOS:						
Larva	R\$ 6,00/larva	2.400,00	4.800,00	7.200,00	9.600,00	12.000,00
*Ração 0,8 mm	R\$ 9,64/Kg	13,21	29,28	45,98	61,13	77,23
*Ração 1,3 mm	R\$ 8,08/Kg	10,29	32,15	55,39	74,61	96,39
Custo	R\$/Juvenil	26,34	8,68	7,42	6,99	6,54
Custo Total	R\$	2.423,49	4.861,44	7.301,38	9.735,73	12.173,62
RECEITAS:						
Receita Bruta	R\$	855,60	5.594,40	10.548,48	16.008,00	22.264,20
Receita líquida	R\$/m ³	-1.567,89	732,96	3.247,10	6.272,27	10.090,58
Receita líquida	R\$/Juvenil	-17,04	1,31	3,29	4,50	5,42

* Rações de 45% PB, valor referente ao ano de 2018.

No Brasil, a comercialização de juvenis de pirarucu é feita com animais a partir de 10 cm de comprimento (Rebelatto Junior et al., 2015). Atualmente, esses animais são comercializados no valor médio de R\$ 1,00/cm. Assim, a larvicultura intensiva do pirarucu

em densidade de estocagem de 2000 larvas.m⁻³ proporciona maior receita bruta e líquida por m³ (R\$ 22.264,20 e R\$ 10.090,58, respectivamente), devido a maior taxa de sobrevivência e a produção de peixes maiores.

Os custos de produção são uns dos maiores desafios para o desenvolvimento da piscicultura do pirarucu no Brasil. O custo do juvenil pode representar até 60% do custo de produção (Oliveira et al., 2012). Assim, a larvicultura *indoor* na densidade de 2000 larvas.m⁻³, pode colaborar para aumento de oferta de juvenis de pirarucu para a fase de recria, diluir os custos de produção e gerar maior lucro por juvenil, pois os dados coletados acerca da lucratividade demonstraram tendência de aumento com a elevação da densidade de estocagem (Figura 8).

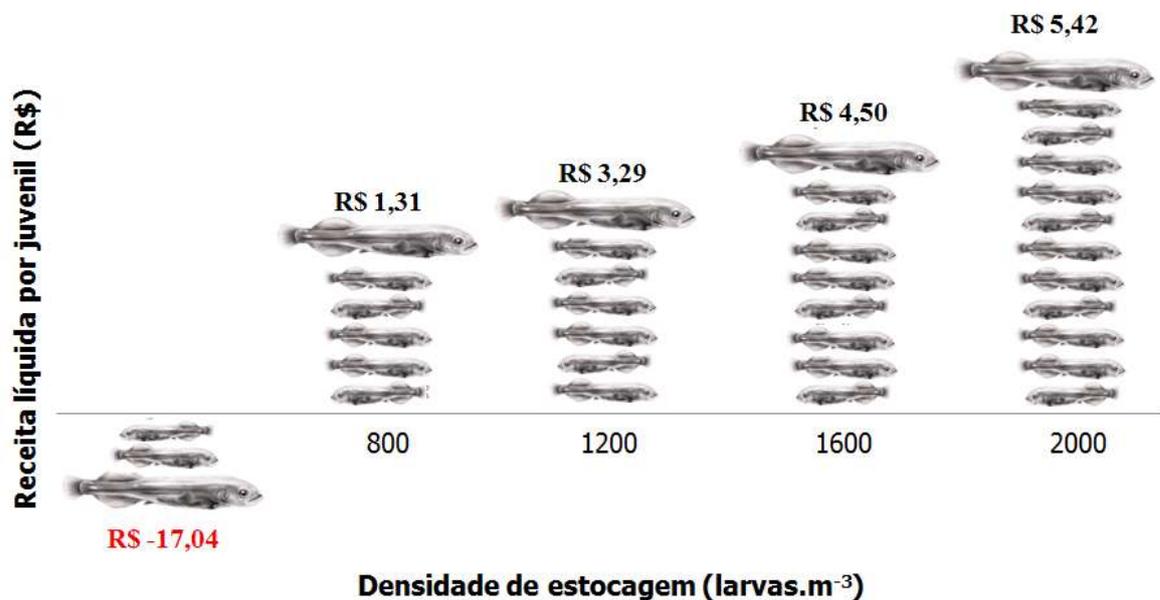


Figura 8. Valores de Receita líquida por juvenil de pirarucu, *Arapaima gigas*, estocados em diferentes densidades, por um período de larvicultura de 30 dias.

6. CONCLUSÃO

O desempenho produtivo da larvicultura do pirarucu foi afetado quando os animais foram estocados em baixas densidades (400 e 800 larvas.m⁻³), nestas densidades menores as larvas apresentam elevada concentração de cortisol plasmático. Sugere-se que a larvicultura de pirarucu seja feita em densidade de 2000 larvas.m⁻³ por apresentaram maior crescimento (peso e comprimento), além de maior sobrevivência e menor custo de produção por juvenil.

7. REFERÊNCIAS

- ALANARA, A. and Brannas, E. Dominance in demand-feeding behaviour in Arctic charr and rainbow trout: the effect of stocking density. **Journal of Fish Biology**. 48,242–254. 1996.
- ANDRADE, J. I. A.; Ono, E. A.; Menezes, G. C.; Brasil, E. M.; Roubach, R.; Urbinati, E. C.; Tavares-Dias, M.; Marcon, J. L.; Affonso, E. G. Influence of diets supplemented with vitamins C and E on pirarucu (*Arapaima gigas*) blood parameters. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A, 576-580, 2007.
- AYROZA, L.M.S.; Romagosa, E.; Rezende Ayroza, D.M.M.; Scorvo Filho, J.D.; Salles, F.A. Custos e rentabilidade da produção de juvenis de tilápia-do-nylo em tanques-rede utilizando-se diferentes densidades de estocagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 231-239. 2011.
- BARCELLOS, L. J. G.; Nicolaiewsky, S. S. M. G.; Lulhier, F. Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), previously exposed to chronic stress. **Aquaculture Research**, 437–444. 1999.
- BARD, J.; Imbiriba, E.P. Piscicultura do pirarucu, *Arapaima gigas*. **Embrapa – CPATU - Circular Técnica**, 17.1986.
- BARRETO, R.E., Volpato, G.L. Ventilation rates indicate stress-coping styles in Nile tilapia. **Journal of Biosciences**. 851–855. 2011.
- BARTON, B. A. and IWAMA, G. K.; Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the responses and effects of corticosteroids. **Annual Review of Fish Disease**, 3-26, 1991.
- BARTON, B. A. Stress in finfish: past, present and future – a historical perspective. In: Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B. (Eds.). **Fish stress and Health in Aquaculture** (Society for Experimental Biology Seminar Series 62). Cambridge: Cambridge University Press, 1-33. 1997.
- BARTON, B.A. Salmonid fishes differ in their cortisol and glucose responses to handling and transport stress. **North American Journal of Aquaculture**, 12-18. 2000.
- BISWAS, A., Maita, M., Yoshizaki, G., Takeuchi, T. Physiological responses in Nile tilapia exposed to different photoperiod regimes. **Journal of Fish Biology**, 811–821. 2004.
- BIZARRO, Y. W. S. **Influência do fotoperíodo nos níveis hormonais, hematológicos e nos índices reprodutivos de machos de tilápia (*Oreochromis niloticus*) linhagem GIFT**. 2013. 44p. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. 2013.

- BOARATTI, A. Z. **Relação entre aminoácidos essenciais em dietas para pacu (*Piaractus mesopotamicus*) na fase inicial de crescimento utilizando o método de deleção.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 2018.
- BRADÃO, F. R.; Gomes, L. C.; Chagas, E. C. Respostas de estresse em pirarucu (*Arapaima gigas*) durante práticas de rotina em piscicultura. **Acta Amazônica**. Manaus, 349-356. 2006.
- BRANDÃO, F. R., Gomes, L. C., Chagas, E. C., Araújo, L. D. Densidade de estocagem de juvenis de tambaqui durante a recria em tanques-rede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 357-362. 2004.
- CAMPOS, J. L.; Ono, E.; Kubitz, F. Aquaculture of Amazon fish in Latin America. **Global Aquaculture Advocate**, 56-58, 2012.
- CANAVELLO, P. R.; Cachat, J. M.; Beeson, E. C.; et al. Measuring endocrine (cortisol) responses of zebrafish to stress. **Zebrafish Neurobehavioral Protocols**, 135-142. 2011.
- CARNEIRO, P.C.F.; Urbinati, E.C. Electrolyte disturbance in matrinxã *Brycon cephalus* following transport stress under benzocaine effect. **Journal of Applied Aquaculture**, 1-13. 2001.
- CASTELLO, L. Habitat de nidificação de *Arapaima gigas* (Schinz) em várzeas da Amazônia. **Journal of Fish Biology**.; 1520-8. 2008.
- CASTRO, F. J. & Fernandes, M. N. Effect of temperature on copper toxicity and hematological responses in the neotropical fish *Prochilodus scrofa* at low and high pH. **Aquaculture**, 109-117. 2009.
- CAVERO, B.A.S. Pereira-Filho, M.; Roubach R. Ituassú, D.R.; Gandra, A.L.; Crescêncio, R. Efeito da densidade de estocagem na homogeneidade do crescimento de juvenis de pirarucu em ambiente confinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 103-107. 2003.
- CAVERO, B.A.S.; Pereira-Filho, M.; Bordinhon, A.M.; Fonseca, F.A.L.; Ituassú, D.R.; Roubach, R.; Ono, E.A. Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 513-516. 2004.
- CHANDROO, K.P.; Duncan, I.J.H; Moccia, R.D. 2004. Can fish suffer? Perspectives on sentience, pain, fear and stress. **Applied Animal Behavior Science**, 225-250.
- CHONG, K, Joshi S, Jin LT, Chong Shu-Chien AC. Proteomics profiling of epidermal mucus secretion of a cichlid (*Symphysodon aequifasciata*) demonstrating parental care behavior. **Proteomics**.; 2251–8. 2005.

- CHU-KOO, F., Dugué, R., Aguilar, M. A. Gender determination in the paiche or pirarucu (*Arapaima gigas*) using plasma vitellogenin, 17 β -estradiol, and 11-ketotestosterone levels. **Fish Physiology and Biochemistry**, 125-136. 2008.
- CITES. 2015. Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora. Appendices I, II and III. 46p.
- CONTE, F.S. Stress and the welfare of cultured fish. **Applied Animal Behaviour Science**, 205-223. 2004.
- CORTEGANO, C. A. A., Godoy, L.C., Petenuci, M.E., Visentainer, J.V., Affonso, E.G., Gonçalves, L.U. Nutritional and lipid profiles of the dorsal and ventral muscles of wild pirarucu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 271-276. 2017.
- COSTA, O. F. T.; Ferreira, D. J. S.; Mendonça, F. L. P.; Fernandes, M. N. Susceptibility of the amazonian fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae) to short-term exposure to nitrite. **Aquaculture**, Atlantic, 627-636. 2004.
- CRESCÊNCIO, R., **Desenvolvimento alimentar de alevinos de pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier, 1829), utilizando alimentos atrativos**. 2001. 26 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) Instituto Nacional de Pesquisa na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2001.
- DANTAS, F. M.; Dairiki, T. B. A. Variáveis morfométricas e merísticas de larvas de pirarucu *Arapaima gigas*. VI Congresso de Iniciação Científica do INPA. 2017.
- DANTAS, N. S. M. **Larvicultura do pirarucu em sistema de bioflocos**. Dissertação. Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Amazonas. 2018.
- DRUMOND, G. V. F., Caixeiro, A. P. A., Tavares-Dias, M., Marcon, J. L., Affonso, E. G. Características bioquímicas e hematológicas do pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Arapaimidae) de cultivo semi-intensivo na Amazônia. **Acta Amazonica**, 591 – 596. 2010.
- DUSTON, J., Astatkie, T., Macisaac, P. F. Long-to-short photoperiod in winter halves the incidence of sexual maturity among Arctic charr. **Aquaculture**, 567-580. 2003.
- ELLIS, T.; North, B. A. P., Scott N. R., Bromage, M., Porter, D. Gadd. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. **Journal of Fish Biology**, London, 493–531. 2002.
- EL-SAYED, A. Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia fry. **Aquaculture Research**, 621-626. 2002.
- ESQUIVEL, B.M.; Esquivel, J.R.; Zaniboni, E. Effects of stocking density on growth of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fingerlings in southern Brazil. **Journal of Applied Aquaculture**, 1-6. 1997.

- FERNANDES, M.O.; Volpato, G.L. Heterogeneous growth in the Nile tilapia: social stress and carbohydrate metabolism. **Physiology & Behavior**, 319-323. 1993.
- FOGAÇA, F. H. S., Oliveira, E. G., Carvalho, S. E. Q., Santos, F. J. S. Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, 95-99, 2011. 2011.
- FOO, J. and Lam, T., Serum cortisol response to handling stress and the effect of cortisol implantation on testosterone level in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*, **Aquaculture**, 115, 145, 1993.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. The State of World Fisheries and Aquaculture. Planning for aquaculture diversification: the importance of climate change and other drivers. Contributing to food security and nutrition for all. **FAO Fisheries and Aquaculture Department** . Rome, Italy. 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. The State of World Fisheries and Aquaculture. Fisheries and Aquaculture Department. Rome: **FAO**; 2016.
- GOMES, L.C.; Chippari-gomes, A. R.; Lopes, N.P.; Roubach, R.; Araujo-lima, C.A.R.M. E Urbinati, E.C. Effect of fish density on the stress physiological responses and mortality of juvenile tambaqui *Collossoma macropomum* during transportation. **Journal of the World Aquaculture Society**, 76-84. 2003.
- GOMES, S. Z. & Schlindwein, A. P. Efeito de períodos de cultivo e densidades de estocagem sobre o desempenho do catfish (*Ictalurus punctatus*) nas condições climáticas do litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 1266-1272. 2000.
- GONÇALVES, A. C. T. O manejo participativo de pirarucu (*Arapaima gigas*) nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã. **IDS**, 278. 2013.
- GONÇALVES, L.U.; Franca, L. A. ; Epifanio, C. M. F. ; Fonseca, F. A. L. ; Alcantara, A. M.; Nascimento, R. G. ; Silva, E. N. S. ; Conceicao, L. E. C. Ostracoda impairs growth and survival of *Arapaima gigas* larvae. **Aquaculture**. 2019.
- HALVERSON, M. Manual de boas práticas de reprodução do pirarucu em cativeiro. **SEBRAE**. Primeira edição. Brasília, Distrito Federal. 2013.
- HATZIATHANASIOU, A.; Paspatis, M.; Houbart, M.; Kestemont, P.; Stefanakis, S.; Kentouri, M. Survival, growth and feeding in early life stages of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) intensively cultured under different stocking densities. **Aquaculture**, 89-102, 2002.
- HEMELRIJK CK, Hildenbrandt H. Scale-free correlations, influential neighbours and speed control in flocks of birds. **Journal of Statistical Physics**, 563–578. 2015.

- HENGSAWAT, K. Ward, F. J. Jaruratjamorn P. O efeito da densidade de estocagem no rendimento, crescimento e mortalidade de bagres africanos (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) cultivados em gaiolas **Aquaculture**, 67-76. 1997.
- HOLBROOK, R. I. Comment on 'Biparental mucus feeding: a unique example of parental care in an Amazonian cichlid'. **The Journal of Experimental Biology**, 3-4. 2011.
- HUNTINGFORD, F. A. & CHELLAPPA, S. Agressão. In: Yamamoto, M.E., Volpato, G.L. (eds) Comportamento animal. EDUFRN, Natal, 157-173. 2006.
- IMBIRIBA, E. P. 2001. Potencial de criação do pirarucu, *Arapaima gigas*, em cativeiro. **Acta Amazônica**, 299-316.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção da pecuária municipal. Rio de Janeiro, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção da pecuária municipal. Rio de Janeiro, 2018.
- IWAMA, G.; Afonso, L.; Todgham, A.; Ackerman, P.; Nakano, K. Are hsp's suitable for indicating stressed states in fish? **The Journal of Experimental Biology**, 15-19. 2004.
- IWAMOTO, R.N.; Myers, J.M.; Hershberger, W.K. Genotype-environmental interactions for growth of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. **Aquaculture**, 153-51. 1986.
- JOBLING, M., **Fish Bioenergetics**. Chapman & Hall, London. 1994.
- JOBLING, S. and Sumpter, J., Detergent components in sewage effluent are weakly oestrogenic to fish: an in vitro study using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. **Aquatic Toxicology**, 361. 1993.
- JOHNSON, J.I., Winberg, S., Sloman, K.A. Social interactions, in: Sloman, K.A., Wilson, R.W., Balshine, S. (Eds.), **Behaviour and Physiology of Fish** (Fish Physiology). Elsevier, San Diego, 151-196. 2006.
- KENDALL, A.W., Ahlstrom, E. H., Moser, H. G. Early life history stages of fishes and their characters. In: Moser, H.G., Richards, W.J., Cohen, D.M., Fahay, M. P., Kendall, A.W. & Richardson, S.L. (Eds.), *Ontogeny and Systematics of Fishes*. Lawrence, KS: **American Society of Ichthyologists and Herpetologists**, 11-22. 1984.
- KESTEMONT, P., & Baras, E. Environmental factors and feed intake mechanisms and interactions. In D. Houlihan, T. Boujard, & M. Jobling (Eds.), **Feed Intake in Fish**, 131-156. 2001.
- KHATUNE-JANNAT, M.; Rahman, M.M.; Bashar, M.A.; et al. Effects of stocking density on survival, growth and production of Thai Climbing Perch (*Anabas testudineus*) under fed ponds. **Sains Malaysiana**, 1205-1210. 2012.

- KUBITZA, F. **Nutrição e alimentação dos peixes**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 74. 1997.
- LAMBERT, Y.; Dutil, J.D. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and sizegrading. **Aquaculture**, 133-147. 2001.
- LAURENT, P. & Perry, F. Effect of cortisol on gill chloride cell morphology and ionic uptake in the freshwater trout, *Salmo gairdneri*. **Cell and tissue research**, 429-442. 1989.
- LAZZARI, R.; Radünz Neto, J.; Corrêia, V.; Veiverberg, C.A.; Bergamin, G.T.; Emanuelli, T.; Ribeiro, C.P. Densidade de estocagem no crescimento, composição e perfil lipídico corporal do jundiá. **Ciência Rural**, 712-718. 2011.
- LEFRANÇOIS, C.; Claireaux, G.; Merciera, C. et al. Effect of density on the routine metabolic expenditure of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, 269-277. 2001.
- LIMA, A. F. Rodrigues, A. P. O. Kanamaru, L. F. L. **Alevinagem, recria e engorda do pirarucu** - Brasília, DF : Embrapa. 2017.
- LIMA, A. F.; Rodrigues, A. P. O.; Varela, E. S.; Torati, L. S.; Maciel, P. O. Pirarucu culture in the Brazilian Amazon: fledgling industry faces technological issues. **Global Aquaculture Advocate**, 56-58. 2015.
- LIMA, L. C. et al. Estresse em peixes. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, 113-117. 2006.
- LULING, K., Zur Biologie und Ökologie von *Arapaima gigas* (Pisces Osteoglossidae). Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere, 436–530. 1964.
- LUXINGER, A. O. **Desempenho produtivo de juvenis de pirarucu (*Arapaima gigas*) cultivados sob diferentes densidades de estocagem em tanques-rede**. 2015. 37 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Pesca) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, Presidente Médici, 2015.
- MACLEAN, A.; Metcalfe, N. B. Social status, access to food, and compensatory growth in the juvenile *Atlantic salmon*. **Journal of Fish Biology**, London, 1331-1346. 2001.
- MATHIYALAGAN. A. P. K. Reddy, and T.J. Lam. Effects of cortisol on growth and development in tilapia larvae, *Oreochromis mossambicus*. **Fish Physiol Biochem**, 453–458. 1996.
- MOBERG, G. P. Biological response to stress: Key to assessment of well-being? In: Moberg, G. P. (ed.) Animal stress. Bethesda: **American Physiological Society**, 27-29. 1985.

- MONTEIRO, D., e M. Izquierdo. Welfare and health of fish fed vegetable oils as alternative lipid sources to fish oil. Taylor & Francis, CRC Press, Boca Raton, 439–485. 2010.
- MORAES, G.; Polez, V. L. P; Iwama, G. K. Biochemical responses of two erythrinidae fish to environmental ammonia. **Brazilian Journal of Biology**, 95-102. 2004.
- NAGATA, M.M., Takahashi, L.S., Gimbo, R.Y., Kojima, J.T., Biller, J.D., Influência da densidade de estocagem no desempenho produtivo Do acará-bandeira (*Pterophyllum scalare*). **Boletim do Instituto de Pesca**, 9 – 16, 2010.
- NAKATANI, K.; Agostinho, A. A.; Baumgartner, G.; Bialecki, A.; Sanches, P.V.; Makrakis, M.C.; Pavanelli, C.S. Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação. **Maringá: EDUEM**, 378. 2001.
- NORTH, B.P. Turnbull, J.F., Ellis, T., Porter, M.J., Migaud, H., Bron, J., Bromage, N.R.. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**. 466–479. 2006.
- OBA, E. T.; Mariano, W. S.; Santos, L. R. B. Estresse em peixes cultivados: agravantes e atenuantes para o manejo rentável. Tavares-Dias, M. (Org). **Manejo e sanidade de peixes em cultivo**. Macapá: Emprapa Amapá, 226-247. 2009.
- OLIVEIRA, E. G., Pinheiro, A. B., Oliveira, V. Q., Silva. A. R. M., Moraes, M. G., Rocha, Í.R. C. B. Sousa, R. R. Costa, F. H. F. Effects of stocking density on the performance of juvenile pirarucu (*Arapaima gigas*) in cages. **Aquaculture**, 96–101. 2012.
- OLIVEIRA, R. F. & Galhardo, L. Sobre a aplicação do conceito de bem-estar a peixes teleósteos e implicações para a piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 77-86. 2007.
- ONO, E.A., Halverson M.R., Kubitz F. Pirarucu – **O gigante esquecido**. **Panorama da Aquicultura**, 14-25, 2004.
- PEREIRA-FILHO, M.; Roubach, R. Pirarucu (*Arapaima gigas*). In: Baldisserotto, B.; Gomes, L. C. (Eds.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2ª ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 27-56. 2010.
- PIAIA, R.; Baldisserotto, B. Densidade de estocagem e crescimento de alevinos de jundiá *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824). **Ciência Rural**, Santa Maria, 509-513. 2000.
- PICKERING, A. D. (Ed.). Stress and fish. London: Academic Press, 1981.
- POUEY, J.L.O.F.; Piedras, S.R.N.; Rocha, C.B. Productive performance of silver catfish, *Rhamdia quelen*, juveniles stocked at different densities. **Ars Veterinaria**, 241-245. 2011.
- REBELATTO JUNIOR, I. A.; Lima, A. F.; Rodrigues, A. P. O.; Maciel, P. O.; Kato, H. C. D. A.; Mataveli, M.; Rezende, F. P.; Varela, E. S.; Sousa, A. R. B. De; Santos, C.; Boijink, C.

- De L.; Yoshioka, E. T. O.; O'sullivan, F. L. De A. 2015. **Reprodução e engorda do pirarucu: levantamento de processos produtivos e tecnologias**. Brasília, DF: Embrapa, 102. 2015.
- RODRIGUES, A.P.O.; Moro, G.V.; Santos, V.R.V. **Alimentação e nutrição do pirarucu (*Arapaima gigas*)**. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 24. (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura,18). 2015.
- SALARO, A. L. Souto, E. F. Diferentes Densidades de Estocagem na Produção de Alevinos de Trairão (*Hoplias cf. lacerdae*). **Revista Brasileira de Zootecnia.**, 1033-1036. 2003.
- SANCHES, F. H. C. Resposta de estresse à substância de alarme na tilápia-do-nilo. 28f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Biológicas – Zoologia) – Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista. 2013.
- Santamaría, Y. V.; Casallas, P. C. Metodología para la determinación de cortisol plasmático en peces usando la prueba de inmunoensayo enzimático (ELISA). **Revista MVZ Córdoba**, 12. 2007
- SANTOS, S.M.C.; Ceccarelli, P.S.; Luque, J.L. Helminthos parasitos do pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Osteoglossiformes: Arapaimidae), no Rio Araguaia, 52 Estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, 171-173. 2008.
- SCHIMITTOU, R., H. Produção de peixes em alta densidade em tanques-rede de pequeno volume. **Mogiana Alimentos Associação Americana de Soja**. Campinas. 78. 1997.
- SCHWEDLER & Johnson, Responsible care and health maintenance of fish in comercial aquaculture. **Animal Welfare Information Center Bulletin**, 10. 2000.
- SHERIDAN, M A. Regulation of lipid metabolism in poikilothermic vertebrates. **Comparative Biochemistry and Physiology**, 495-508. 1994.
- SILVA, R. D. **Parâmetros hematológicos e bioquímicos da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus* L.) sob estresse por exposição ao ar**. 2010. 50f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Animal) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Goiás. 2010.
- SILVEIRA, S. U.; Logato, R. P.; Pontes, C. E. Fatores estressantes em peixes. **Revista Eletrônica Nutritime**, 1001-1017, 2009.
- STEEL, R.G.D. and Torrie, J.H. Principles and Procedures of Statistics: **A Biometrical Approach**. 1984.
- STICKNEY, R. R. **Principles of aquaculture**. New York: John Wiley & Sons, 502. 1994.
- TORATI, L. S. , Migaud, H., Doherty, M. K., Siwy, J., Mullen, W., Mesquita, P. E. C., Albalat, A. Comparative proteome and peptidome analysis of the cephalic fluid secreted by

- Arapaima gigas* (Teleostei: Osteoglossidae) during and outside parental care. **PLoS ONE** e0186692. 2018
- VIJAYAN, M. M. High stocking density alters the energy metabolism of brook charr, *Salvelinus fontinalis*. **Aquaculture**, 371-381. 1990.
- VIJAYAN, M.M., Ballantyne, J.S., Leatherland, J.F. Cortisol-induced changes in some aspects of the intermediary metabolism of *Salvelinus fontinalis*. **General and Comparative Endocrinology**. 476-486. 1989.
- VOLPATO, G. L., Barreto RE. Environmental blue light prevents stress in the fish Nile tilapia. **Brazilian journal of medical and biological research**, 1041–1045. 2001.
- WALLACE, J. C.; Kolbeinshavn, A. G.; Reinsnes, T. The effects of stocking density on early growth in arctic char, *Salvelinus alpinus* (L.). **Aquaculture**, Amsterdam, 101-110. 1988.
- WEDEMEYER, G. A., Barton, B., Mc Leay D. Stress and acclimation. In: Schreck C, Moyle P. (Ed.). *Methods for fish biology*. Bethesda, MD: **American Fisheries Society**, p. 451-489. 1990.
- WENDERLAAR, B. S. E. The stress response in fish. **Physiological Reviews**, Washington, 591-625. 1997.
- ZAYAN, R. The specificity of social stress. **Behavioural Processes**, 81-93, 1991.
- ZHU, Y.J.; Yang, D.G.; Chen, J.W.; et al. An evaluation of stocking density in the cage culture efficiency of Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* **Journal of Applied Ichthyology**., 545-549. 2011.