

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA DE AQUICULTURA**

**CRESCIMENTO COMPENSATÓRIO DE ALEVINOS DE
TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDOS A
RESTRICÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO**

AGNES DE SOUZA MARQUES

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2018**

**CRESCIMENTO COMPENSATÓRIO DE ALEVINOS DE
TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDOS A
RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO**

AGNES DE SOUZA MARQUES

Orientador: Prof. Dacley Hertes Neu

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para conclusão do curso de
Engenharia de Aquicultura.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M357c Marques, Agnes De Souza

Crescimento compensatório de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidos a restrição alimentar e realimentação / Agnes De Souza Marques -- Dourados: UFGD, 2018.
35f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Daclei Hertes Neu

TCC (Graduação em Engenharia de Aquicultura)-Universidade Federal da Grande Dourados
Inclui bibliografia

1. Manejo alimentar. 2. Crescimento compensatório. 3. Restrição alimentar. I. Título.

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

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

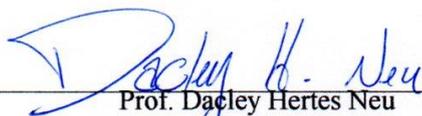
**CRESCIMENTO COMPENSATÓRIO DE ALEVINOS DE
TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDOS A
RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO**

Por

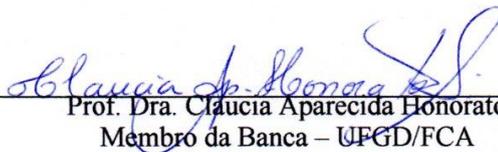
Agnes de Souza Marques

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO DE AQUICULTURA

Aprovado em: 29 de novembro de 2018.



Prof. Daçley Hertez Neu
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dra. Cláucia Aparecida Honorato
Membro da Banca – UFGD/FCA



Prof. Dra. Daniele Menezes Albuquerque
Membro da Banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Dacley Hertes Neu pela confiança em mim depositada.

Aos meus pais e família por todo apoio, amor e carinho.

Aos meus amigos por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus professores por todo conhecimento transmitido.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	3
2.2. Nutrição dos peixes.....	4
2.3. Crescimento Compensatório.....	5
2.4. Musculatura dos peixes.....	7
2.4.1. Desenvolvimento e crescimento do tecido muscular em peixes.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5. CONCLUSÕES	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Esquema da curva de desempenho dos peixes após o período de restrição alimentar seguido de realimentação.....	6
FIGURA 2. (A) Desenho esquemático demonstrando a região da musculatura lateral, (B) Formato de um miômero de peixe teleósteo.	8
FIGURA 3. Esquema demonstrativo dos principais eventos que ocorrem durante a embriogênese do músculo estriado esquelético.	10
FIGURA 4. Esquema demonstrando a localização das células satélites, entre o sarcolema e a lâmina basal da fibra muscular.	10
FIGURA 5. Esquema demonstrativo dos principais mecanismos de crescimento muscular pós-natal nos peixes: hipertrofia e hiperplasia. A população de Células Satélites contribui para o crescimento hipertrófico e hiperplásico do músculo esquelético.	11
FIGURA 6. Uniformidade do lote de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) antes de serem submetidos a restrição alimentar e realimentação.....	15
FIGURA 7. Sobrevivência de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetidos a restrição alimentar e realimentação.	17
FIGURA 8. Gráficos de distribuição de frequência (%) de diâmetros das fibras dos peixes submetidos a diferentes estratégias de alimentação nos tratamentos T1, T2 e T3.	19
FIGURA 9. Fotomicrografia em corte transversal de tecido muscular de alevinos de tilápia do Nilo, ao término do experimento.	20

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Valores médios de temperatura (°C), pH, oxigênio dissolvido (mg/L), e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da água dos aquários de tilápia do Nilo submetidos nos tratamentos T1, T2 e T3.	15
TABELA 2. Parâmetros de desempenho zootécnico de alevinos de tilápia do Nilo submetidos a diferentes manejos alimentares	16

MARQUES, Agnes de Souza. **Crescimento compensatório de alevinos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidos a restrição alimentar e realimentação.** 2018. 35p. Monografia (Graduação em Engenharia de Aquicultura) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do crescimento compensatório em alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), submetidos a diferentes períodos de jejum e realimentação. Durante 55 dias, 108 alevinos de tilápia do Nilo foram distribuídos aleatoriamente em 12 aquários de 15 litros cada um, em um sistema de recirculação de água, sob delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e quatro repetições, sendo: Controle: peixes alimentados até a saciedade aparente durante todo período experimental; jejum 10: peixes alimentados até a saciedade aparente por 15 dias, seguidos de 10 dias de jejum e realimentação até a saciedade aparente por 30 dias; e jejum 15: peixes alimentados até a saciedade aparente por 15 dias, seguidos de 15 dias de jejum e realimentação até a saciedade aparente por 25 dias. Avaliou-se o desempenho zootécnico dos peixes por meio do consumo total de ração (CTR), ganho individual de peso (GP), comprimento total (CT), taxa de crescimento específico (TCE), sobrevivência (S) e fator de condição, além do crescimento muscular. A qualidade de água: pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica permaneceram dentro das faixas consideradas adequadas ao bom desenvolvimento das espécies. Os peixes do tratamento Jejum 15 apresentaram resultados insatisfatórios de desempenho produtivo ($P < 0,05$). Apesar das estratégias alimentares com ciclos de restrição e realimentação serem usadas para promover respostas compensatórias no desempenho produtivo de peixes, no presente estudo foi observado este efeito apenas para os peixes do tratamento Jejum 10, com pausa na alimentação durante 10 dias e realimentação por 30 dias. A restrição alimentar influenciou diretamente no crescimento das fibras musculares inferiores a $20 \mu\text{m}$ ($P < 0,05$), sendo que os peixes do tratamento Jejum 15 apresentaram a menor frequência de fibras nesta classe de diâmetro. Conclui-se que a restrição alimentar nesta fase é compensada com ao menos 30 dias de realimentação após o jejum.

Palavras-chave: Manejo alimentar; crescimento compensatório; restrição alimentar.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of different starvation and re-feeding periods on compensatory growth in juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). A total of 108 juvenile Nile tilapia were randomly distributed to 12 tanks with capacity of 15 L each, maintained in a recirculating water system. The experiment lasted 55 days and was conducted in a completely randomized experimental design with four replications. The experimental treatments consisted of: Control: fish were fed to apparent satiation throughout the experimental period; Starvation 10: fish were fed to apparent satiation for the first 15 days, followed by 10 days of starvation and re-feeding to apparent satiation for 30 days; and Starvation 15: fish were fed to the satiation for the first 15 days, followed by 15 days of starvation and re-feeding to apparent satiation for 25 days. Animal performance was evaluated through determination of feed intake, total length, individual body weight, specific growth rate, survival rate, condition factor and muscle growth. Water quality parameters, including pH, dissolved oxygen and electric conductivity remained within values considered to favor fish development. Unsatisfactory performance results were reported in fish submitted to 15 days of starvation (treatment starvation 15 - $P < 0,05$). Feeding strategies with cycles of restriction and re-feeding have been used to promote compensatory growth performance in fish. However, in this study, positive results for compensatory growth performance were reported only in fish submitted to 10 days of starvation followed by 30 days of re-feeding (treatment Starvation 10). Growth of muscle fibers with diameter smaller than 20 μm was directly impacted ($P < 0,05$) by feed restriction. Fish submitted to starvation for 15 days (treatment starvation 15) had the lower frequency on muscle fibers with diameter smaller than 20 μm . In conclusion, feeding restriction in the juvenile phase is compensated by at least 30 days of re-feeding after the starvation period.

Key words: feeding management; compensatory growth; feeding restriction.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura é o setor que apresenta maior crescimento em comparação com outros setores alimentícios. Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), a produção global de produtos advindos da aquicultura chegou a 110,2 milhões de toneladas em 2016, apresentando um crescimento contínuo da atividade (FAO, 2018). Em razão da expansão da aquicultura, o estudo e desenvolvimento de métodos específicos para diferentes espécies de organismos aquáticos se tornam primordiais para a competitividade no mercado atual.

No Brasil, a aquicultura está em plena expansão, devido aos investimentos feitos nos últimos anos. Para suprir essa crescente demanda, diversas espécies aquícolas são produzidas em âmbito nacional. E nesse ínterim, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é a espécie mais produzida no país, principalmente devido às suas características zootécnicas. Dentre elas podemos citar o crescimento rápido, reprodução rápida, resistência a altas temperaturas, baixas concentrações de oxigênio dissolvido e altas concentrações de amônia na água, resistência a doenças e ao estresse (EL-SAYED, 2006). Além disso, houve o desenvolvimento de linhagens domesticadas aliadas ao melhoramento genético, resultando em uma espécie adequada ao cultivo em larga escala. Não obstante, deve-se ressaltar o papel da nutrição, que nos últimos anos contribuiu de forma categórica para o estabelecimento de um pacote tecnológico favorecendo a criação de tilápias, com o fornecimento de rações que atendem às exigências nutricionais em diversas fases da criação (STICKNEY, 2000).

Os peixes apresentam ritmos biológicos, que são definidos como qualquer evento que se repete de maneira regular em um organismo (VERAS et al., 2013). Quando expostos a diferentes níveis de jejum, condição que pode ocorrer em seu ambiente natural, os peixes podem apresentar alterações nos processos de hiperplasia e hipertrofia do músculo. No entanto, quando voltam a se alimentar regularmente após o período de jejum, há uma aceleração no crescimento, resultando no que se conhece como crescimento compensatório (TIAN e QIN, 2003).

Assim quando o regime alimentar engloba uma frequência alimentar de forma correta, há uma otimização da quantidade de alimento utilizado, reduzindo custos com ração, mão de obra, e ainda diminuindo a quantidade de ração não aproveitada e a excreção de metabólitos no ambiente (URBINATI, 2010). Existe a possibilidade de ajustar a ração com base no consumo em um período pré-estipulado. O crescimento compensatório é uma estratégia a ser estudada para utilização no manejo alimentar da tilápia do Nilo, buscando

melhorar a taxa de crescimento e ganho em peso, além de reduzir custos com ração (ITUASSÚ et al, 2004).

A restrição alimentar e realimentação são estratégias que podem ser adotadas com o objetivo de explorar a capacidade natural que os peixes possuem de recuperação metabólica e crescimento, visando uma economia no fornecimento de ração (SOUZA et al., 2003). Porém, os resultados do ajuste biológico promovido pela restrição alimentar dependem da espécie considerada, além de outros fatores como a idade do peixe, as condições ambientais, dieta e a duração do período de jejum (SQUASSONI, 2015).

Aliado a isso, conhecer a dinâmica do crescimento muscular proporciona um melhor entendimento da sua morfofisiologia, visando à adoção de estratégias para aumento da produtividade (PEREIRA, 2016). Nos peixes, o tecido muscular é formado por fibras e o crescimento se dá pelos processos de hipertrofia, que é o aumento do tamanho da célula, e hiperplasia, caracterizado pelo aumento do número de células (MELO et al., 2016). No entanto, torna-se necessário uma investigação mais detalhada do desenvolvimento e mudanças do tamanho dessas fibras ao longo do crescimento, tentando aperfeiçoar a produção e o sistema de diferentes espécies, tornando-os mais eficientes.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do crescimento compensatório em alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), submetidos a diferentes períodos de jejum e posteriormente à realimentação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A tilápia é a denominação comum de uma grande gama de espécies de peixes ciclídeos, que podem ser encontradas originalmente do centro-sul da África até o norte da Síria. Dentre as mais de 70 espécies de tilápias, as mais importantes para a aquicultura pertencem ao gênero *Oreochromis*, e a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) está entre as espécies mais criadas comercialmente (EL-SAYED, 2008), correspondendo a cerca de 80% de toda a produção mundial de tilápias. Essa quantidade produzida se deve a sua adaptabilidade aos variados sistemas de produção e condições ambientais, facilidade de reprodução, alta prolificidade e rápido crescimento (WATANABE et al., 2002), entre outras características favoráveis.

A distribuição das tilápias pelo mundo começou com o intuito da criação de peixes para a subsistência em países em desenvolvimento. A primeira espécie introduzida foi a *O. mossambicus*, porém, a mesma apresentou baixo desempenho para a atividade aquícola (LOVSHIN, 1997). No entanto, no final dos anos 70, a espécie *O. niloticus* demonstrou alto potencial para a aquicultura, em vários sistemas de criação, pois se adaptou tanto em cultivos extensivos, sem tecnologia empregada, quanto em sistemas de criação em tanques-rede, com alta tecnologia de produção (KUBITZA, 2000).

No Brasil, a tilápia do Nilo, proveniente da Costa do Marfim no Oeste africano, foi introduzida no Nordeste em 1971 e, então, distribuída pelo país (BOSCOLO et al., 2001). Nas últimas décadas, a tilapicultura vem se intensificando de forma significativa, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), sendo a espécie mais produzida no Brasil, representando cerca de 45% da produção de peixes em 2015, e a segunda espécie mais cultivada no mundo, atrás somente das diversas espécies de carpas. A tilápia é uma espécie que resiste a altas temperaturas, concentração crítica de oxigênio dissolvido e a teores elevados de amônia na água (MEURER et al, 2002), características que a tornaram potencial para aquicultura, juntamente com outras qualidades, como rusticidade, crescimento rápido, adaptabilidade, baixa conversão alimentar e alto ganho em peso, além de apresentar carne branca, de excelente paladar e textura, com ausência de espinhos, facilitando assim a filetagem e sua industrialização (BOSCOLO et al., 2001).

2.2 Nutrição dos peixes

O conhecimento sobre as informações nutricionais dos peixes é importante para a produtividade e economia dos sistemas de produção e aproveitamento eficiente dos nutrientes das dietas na piscicultura. De acordo com Tachibana e Castagnoli (2003), a identificação das exigências nutricionais no cultivo dos organismos aquáticos é primordial.

A dieta fornecida aos peixes deve atender suas exigências nutricionais. O nível nutricional diário de proteína necessário para garantir o crescimento adequado das tilápias varia em torno de 28% e esta variação depende do tamanho do peixe, temperatura da água, manejo alimentar, quantidade de energia não-protéica, e principalmente da qualidade da proteína (FURUYA et al. 2001). Estudos sobre alimentação de peixes, Van Der Meer et al. (1997) constataram que alta frequência alimentar resulta em altas taxas de consumo de ração por dia e baixas quantidades de ração por vez, destacando a importância do manejo alimentar correto. Ainda assim, um adequado manejo tecnológico na produção de peixes permite maior produtividade e redução nos custos, proporcionando ao piscicultor maior lucratividade (SCORVO, 1999).

O manejo alimentar correto é necessário para auxiliar o crescimento dos peixes, nas diferentes fases de desenvolvimento, permitindo melhorar o seu crescimento, sua sobrevivência e sua conversão alimentar, sem o comprometimento sanitário, pois o excesso de alimento, além de provocar alterações metabólicas, implica na deterioração da qualidade da água, e a alimentação deficiente resulta em baixo índice de crescimento e acentuada variação entre os indivíduos (TACHIBANA et al, 2004).

O hábito alimentar dos peixes identifica as necessidades nutricionais de cada espécie. Os vários fatores ambientais como: estação do ano, temperatura da água, disponibilidade de alimentos acaba tornando os períodos de jejum normais entre as espécies. Dessa forma, a adoção de estratégias de alimentação com restrição alimentar e realimentação é uma forma de explorar a capacidade natural de recuperação metabólica e crescimento dos peixes que permitindo economia no fornecimento de ração (SOUZA et al., 2003).

Durante a restrição alimentar, as respostas metabólicas, variam significativamente entre os teleósteos e alguns fatores como a idade, estações do ano, condições ambientais e experimentais e estado nutricional, também podem influenciar o metabolismo aumentando ou diminuindo o efeito do jejum no ajuste biológico dos animais (WANG et al., 2000).

Quando ocorre a privação de alimento, os processos vitais essenciais são mantidos às custas das reservas energéticas endógenas, resultando em diminuição e desgaste dos tecidos

corporais (WEATHERLEY e GILL, 1987). A redução do gasto energético pode ocorrer via redução da temperatura corporal, com redução da taxa metabólica. Os animais também podem reduzir o gasto energético, com redução da atividade locomoção, bem como mudanças fisiológicas e comportamentais na reprodução (WANG et al., 2000).

Durante o período de jejum, muitas mudanças fisiológicas ocorrem nos peixes, fazendo com que os animais utilizem o depósito de energia para a manutenção do metabolismo. As respostas provocadas pela restrição alimentar podem variar entre as espécies, tanto no tipo de reserva utilizada quanto no tecido a partir do qual essas fontes são obtidas (NAVARRO e GUTIERREZ, 1995). Algumas espécies de peixes utilizam as proteínas musculares como maior reserva energética, enquanto o estoque de glicogênio é mantido pela gliconeogênese; entretanto, outros conservam as proteínas musculares e consomem a gordura e os estoques de glicogênio (LUNDSTEDT, 2003).

De acordo com Rios et al. (2002), em teleósteos, a principal reserva energética são as armazenadas no fígado na forma de gordura visceral durante o período de abundância de alimento. Na maioria das vezes, o lipídeo hepático é a primeira fonte de energia utilizada, seguido pelo glicogênio do fígado e glicogênio do músculo branco.

No estágio inicial da privação alimentar, o jejum está diretamente relacionado com a manutenção dos níveis de glicose sanguínea e com a capacidade de mobilização do glicogênio hepático, dependendo, posteriormente da ativação da gliconeogênese (NAVARRO e GUTIERREZ, 1995). Além disso, o metabolismo dos peixes podem sofrer alterações e respostas fisiológicas provocadas pelas práticas de manejo, presença de parasitas e a restrição alimentar.

2.3 Crescimento Compensatório

Muitos organismos exibem respostas compensatórias como forma de adaptação a variações na ingestão de alimento, decorrentes da escassez temporal e espacial ou em razão da migração para a desova (HORNICK et al., 2000). Na natureza, os peixes são muitas vezes submetidos a períodos de privação parcial ou total de alimentos. Essas privações são os métodos mais utilizados para se obter o crescimento compensatório (KOJIMA et al., 2015).

O crescimento compensatório pode ser definido como um processo fisiológico por meio do qual um organismo tem seu crescimento acelerado após um período de desenvolvimento reduzido, geralmente provocado pela diminuição na ingestão de alimento, na tentativa de alcançar o peso dos animais que cresceram continuamente (HORNICK et al., 2000).

A taxa de crescimento compensatório varia com o estágio de desenvolvimento, o período de restrição alimentar e realimentação e a espécie considerada. Após um período de restrição, a realimentação promove uma reversão nos processos de mobilização de reservas corporais para suprir o catabolismo. Somente quando esta condição estiver satisfeita, o destino da dieta será o crescimento (MONTSEERRAT et al., 2007; HAGEN, et al., 2009).

O crescimento compensatório pode ser classificado conforme a extensão de sua ocorrência, sendo completa, parcial ou sobre compensação (Figura 1). A compensação completa ocorre quando animais submetidos à privação alimentar atingem o mesmo porte que animais da mesma idade, alimentados continuamente. A compensação parcial ocorre quando animais da mesma idade submetidos à privação de alimento não conseguem alcançar o mesmo porte dos animais não submetidos à restrição alimentar, porém apresentam rápido crescimento e melhor conversão alimentar durante o período de realimentação. E a sobre compensação, ocorre raramente, quando animais de mesma idade, submetidos à restrição alimentar, apresentam taxa de crescimento superior ao dos animais que não sofreram privação de alimento (ALI et al., 2003).

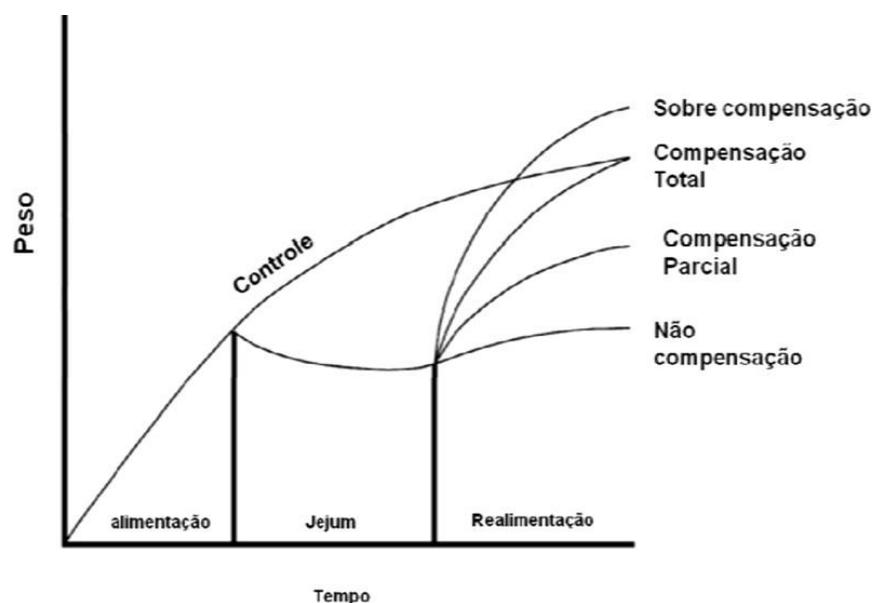


FIGURA 1. Esquema da curva de desempenho dos peixes após o período de restrição alimentar seguido de realimentação. (Adaptado: ALI et al., 2003)

A extensão do ganho compensatório depende de vários fatores como a natureza, severidade e a duração da restrição alimentar, a idade e maturidade sexual dos animais e a forma como ocorre à realimentação (WANG et al., 2000). O estudo do crescimento compensatório em várias espécies de peixes e sua exploração com compensação completa ou

sobre compensação pode trazer uma série de vantagens, incluindo melhoria na utilização do alimento, redução nos custos com mão de obra, redução no descarte de nutrientes provindos da alimentação, para a água e flexibilidade no fornecimento do alimento (GAYLORD e GATLIN, 2001)

Um dos principais mecanismos envolvidos no ganho compensatório observado em peixes é a elevação da taxa de ingestão de alimento durante a realimentação, fenômeno conhecido como hiperfagia. É observada nos primeiros dias de realimentação, considerada em muitas espécies de peixes como o responsável pelo crescimento compensatório (GURNEY et al., 2003). Adicionalmente, seja necessário, a combinação com um mecanismo de alocação que favoreça o elevado fluxo de nutrientes assimilados durante a realimentação para o crescimento estrutural (GURNEY et al., 2003). Ainda, no período de restrição, os peixes precisam reduzir seu gasto metabólico e mobilizar reservas corporais para obter a energia necessária para a manutenção de processos vitais, como a função cerebral, respiração e regulação do equilíbrio mineral (FURNÉ et al., 2012).

Comparado a sistemas convencionais de criação em pisciculturas, que adotam regime constante de alimentação, a incorporação de protocolos alimentares, que induz o crescimento compensatório, mostra uma promessa de reduzir a quantidade de alimento necessária para espécies de peixes cultivadas comercialmente. Apesar de diversas espécies animais apresentarem crescimento compensatório, os mecanismos que comandam as respostas compensatórias ainda são pouco conhecidos.

2.4 Musculatura dos peixes

Nos peixes, uma das principais características do tecido muscular esquelético é a plasticidade e esta característica torna o músculo extremamente importante para a adaptação dos organismos ao seu habitat. Este tecido pode representar cerca de 30-80% do peso corporal, uma vez que ele tem a capacidade de alterar suas funções morfológicas, metabólicas e funcionais em resposta a vários estímulos (ACOSTA et al., 2005) que lhe é submetido.

O músculo estriado esquelético é formado por unidades morfofuncionais, chamadas de miômeros, que se repetem ao longo do corpo do animal e estão inseridos por curtos tendões em bainhas de tecido conjuntivo, os miosseptos (ALEXANDER, 1969) (Figura 2). A disposição dos miômeros confere a esses animais uma maior mobilidade e destreza durante a realização dos movimentos ondulatórios da natação. Os miômeros apresentam formato em “W” (Figura 2B) e cada um contém uma região superficial, em formato de cunha, disposta

imediatamente abaixo da linha lateral, onde as fibras musculares têm disposição paralela ao eixo corporal, e uma região mais profunda, na qual as fibras musculares apresentam uma disposição em hélice, formando ângulos maiores que 40° em relação ao eixo corporal (ALEXANDER, 1969; SANGER e STOIBER, 2001).

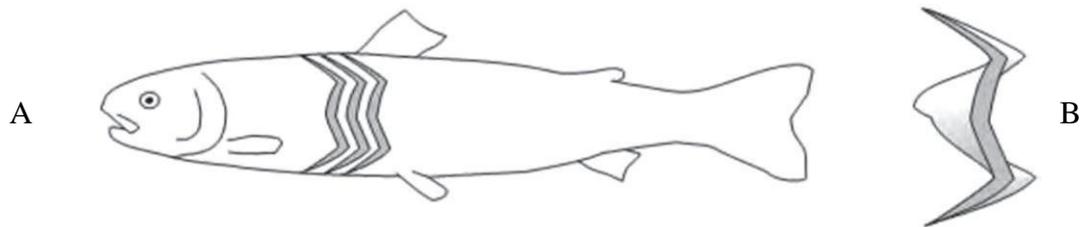


FIGURA 2. (A) Desenho esquemático demonstrando a região da musculatura lateral, (B) Formato de um miômero de peixe teleósteo. Adaptado de ALTRINGHAM e ELLERBY, 1999.

Os músculos natatórios de todos os grupos de peixes são altamente especializados para atender a demanda de força que é necessária, tanto durante o movimento de sustentação quanto durante movimentos rápidos. A solução adotada universalmente pelos peixes é dividir o sistema locomotor em vários compartimentos ou camadas contendo fibras musculares distintas (SANGER e STOIBER, 2001).

Os tipos de fibras musculares estão distribuídos em regiões ou compartimentos distintos: superficial, intermediário e profundo. O compartimento vermelho ou superficial, localizado abaixo da pele, corresponde até 30% da musculatura total dos peixes e é responsável pelos movimentos lentos e de sustentação do corpo. As fibras musculares desse compartimento possuem muitas mitocôndrias, mioglobina e lipídios, apresentam metabolismo oxidativo e cadeia pesada de miosina (MHC), contraindo as fibras lentamente, sendo numerosas na região do septo horizontal e aumentando em direção à nadadeira caudal (SILVA-GOMES, 2018).

No compartimento profundo ou branco, concentra-se a maior quantidade da massa muscular, representando cerca de 60 a 70% do total. As fibras brancas possuem pouca mioglobina, mitocôndrias e lipídios, metabolismo glicolítico e cadeia pesada de miosina (MHC) para movimentos rápidos de locomoção, como na fuga de predadores e captura de alimentos (JOHNSTON, 1999). As fibras do compartimento intermediário representam menos de 10% da massa corporal e estão localizadas entre o compartimento superficial e o profundo, força de contração rápida e metabolismo glicolítico/oxidativo, podendo ser

recrutadas para atividades de sustentação e movimentos rápidos (JOHNSTON, 1999; SANGER e STOIBER, 2001).

2.4.1 Desenvolvimento e crescimento do tecido muscular em peixes

A formação das primeiras fibras e diferenciação muscular ocorre nas fases iniciais da embriogênese em fases distintas. Como ocorre com outros animais, o desenvolvimento inicial é crucial e importante para a formação do indivíduo adulto. Nas primeiras etapas da embriogênese, o desenvolvimento dos peixes teleósteos é influenciado por fatores maternos depositados no ovócito durante a ovogênese (JOHNSTON, 2000). Após a fertilização, os ovócitos tornam-se ativos, iniciando uma cascata de eventos necessários para o desenvolvimento do indivíduo.

Inicialmente, durante a miogênese, os embriões de peixe se desenvolvem externamente, permitindo que os detalhes e os padrões de formação e diferenciação do somito muscular sejam facilmente observados. Nesta etapa, o embrião apresenta um sistema muscular relativamente simples, em que músculos rápidos (branco) e lentos (vermelho), assim como seus respectivos precursores, são claramente separados uns dos outros, proporcionando assim um modelo ideal para o acompanhamento do processo de diferenciação e desenvolvimento muscular (MARECO, 2012).

A especificação do mesoderma paraxial, ocorre durante o processo de formação muscular (ZHANG et al., 2001). Neste período, ocorre a formação dos somitos, estruturas epiteliais transitórias que se formam nas primeiras etapas do desenvolvimento. A especificação de células progenitoras musculares no somito depende de sinais indutivos dos tecidos adjacentes, como o tubo neural, a notocorda e o ectoderma dorsal e lateral. Em resposta a estes sinais indutivos, as células precursoras miogênicas originam os mioblastos, células mononucleadas. Em seguida, vários mioblastos fundem suas membranas originando os miotubos multinucleados onde os núcleos estão localizados na região central. (RESCAN, 2001) (Figura 3).

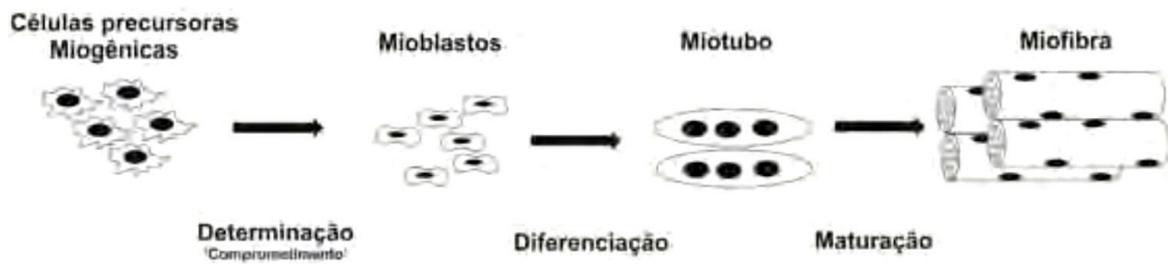


FIGURA 3. Esquema demonstrativo dos principais eventos que ocorrem durante a embriogênese do músculo estriado esquelético. Adaptado de WATABE, 1999.

As fibras musculares adultas são formadas através da migração dos mionúcleos centrais para a periferia da fibra e, assim, alcançam sua forma definitiva como uma fibra madura multinucleada com núcleos periféricos. A maturação/diferenciação da fibra muscular também inclui um aumento da síntese e acúmulo de proteínas miofibrilares, como actina e miosina e uma contínua formação de miofibrilas (MARECO, 2012).

Durante o desenvolvimento embrionário, algumas células precursoras/progenitoras miogênicas não se fundem e permanecem como células indiferenciadas no músculo. Estas células possuem a capacidade de se proliferar, e também têm o potencial de se diferenciar e se fundir com as fibras musculares existentes, sendo denominadas de células satélites ou mioblastos adultos (VASYUTINA et al., 2007). As células satélites são pequenas ($<5\mu\text{m}$), mononucleadas e quiescentes, estas células constituem a principal fonte celular para a regeneração e para o processo de crescimento muscular pós-natal (JOHNSTON et al., 2000; BUCKINGHAM, 2007) (Figura 4).

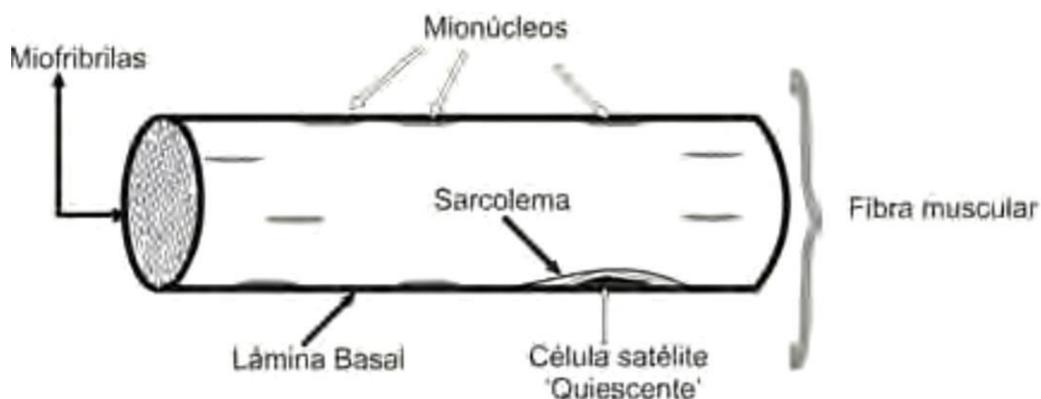


FIGURA 4. Esquema demonstrando a localização das células satélites, entre o sarcolema e a lâmina basal da fibra muscular. Fonte: MARECO, 2012, baseado em MAURO, 1961.

O crescimento muscular pós-embriônico na maioria dos peixes ocorre através da ativação, proliferação e diferenciação das células satélites; essa ativação é promovida por diversos hormônios e fatores de crescimento (KOUMANS e AKSTER, 1995). Com poucas exceções, a maioria das espécies de peixes tendem a apresentar um crescimento indeterminado. Nestes animais, o crescimento muscular ocorre através de dois processos: hipertrofia e hiperplasia, os quais contribuem por todo o período de crescimento pós-embriônico da musculatura estriada.

O crescimento “hiperplásico” do músculo se refere ao aumento no número de fibras musculares devido à formação de novas fibras. A produção de miotubos e novas fibras musculares, continua até que o peixe alcance cerca de 40% do comprimento máximo do corpo (JOHNSTON, 1999). Na hiperplasia, a fusão entre células satélites ativadas resultam na formação de novos miotubos na superfície das fibras existentes, com posterior diferenciação em fibras musculares (STELLABOTTE e DEVOTO, 2007).

Durante o crescimento hipertrófico, as células satélites ativadas fundem-se com fibras musculares existentes, aumentando o número de mionúcleos e a síntese de miofibrilas, levando ao aumento no diâmetro ou área da fibra muscular (JOHNSTON, 1999) (Figura 5). As fibras musculares crescem por hipertrofia durante todo o período de crescimento pós-larval até atingirem um máximo diâmetro funcional que é em torno de 100 μ m (fibras brancas).

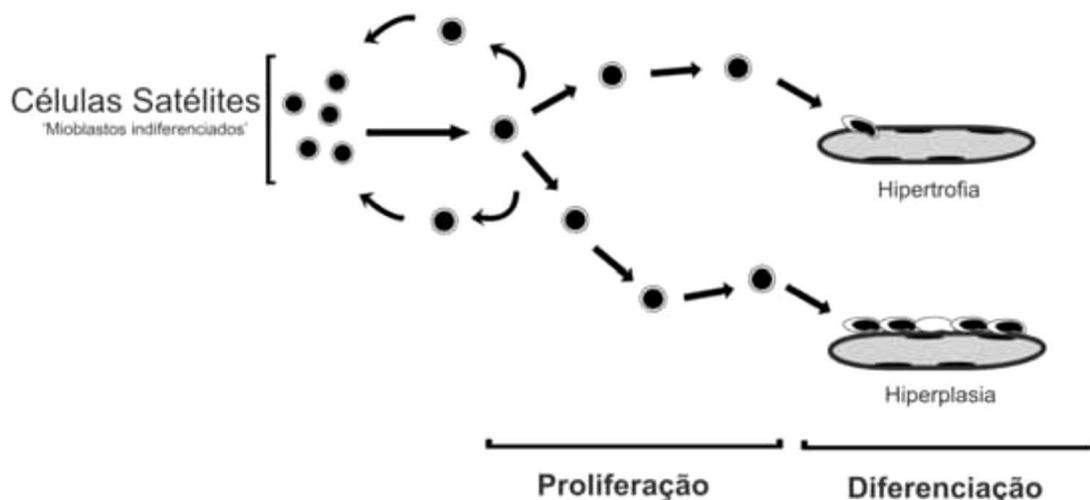


FIGURA 5. Esquema demonstrativo dos principais mecanismos de crescimento muscular pós-natal nos peixes: hipertrofia e hiperplasia. A população de Células Satélites contribui para o crescimento hipertrófico e hiperplásico do músculo esquelético. Adaptado de JOHNSTON, 1999.

A taxa de crescimento hipertrófico varia com a taxa de crescimento somático e em diferentes estágios de vida do animal (ROWLERSON e VEGGETTI, 2001). A contribuição relativa da hiperplasia e hipertrofia para o crescimento muscular nas espécies de peixes são variáveis, dependendo da espécie, fase de crescimento e tipo de músculo (AGUIAR et al., 2005). Em geral, nos peixes com crescimento indefinido ocorrem os dois tipos de crescimento muscular (hiperplasia e hipertrofia), durante todo o período de crescimento. No entanto, o crescimento hipertrófico das fibras musculares ocorre em todos os estágios de crescimento, porém é predominante durante as fases juvenil e adulta (ROWLERSON e VEGGETTI, 2001). Por outro lado, a taxa de crescimento por hiperplasia diminui com o avançar da idade dos peixes e sua contribuição nunca excede 50% do crescimento muscular (ALMEIDA et al., 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Produção Aquícola da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados. Durante 55 dias, 108 alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) provindos da piscicultura Aquaforte, localizada em Dourados, da linhagem tailandesa e que passaram pelo processo de masculinização, com média de tamanho inicial de 3,6cm e média de peso de 1,64g foram distribuídos aleatoriamente em 12 aquários de 15 litros cada um, acoplados a um sistema de recirculação de água, em um delineamento inteiramente casualizado constando de três tratamentos e com quatro repetições, sendo:

- Controle: peixes foram alimentados até a saciedade aparente durante todo período experimental;
- Jejum 10: peixes foram alimentados até a saciedade aparente por 15 dias, seguidos de 10 dias de jejum e posterior realimentação até a saciedade aparentes por 30 dias;
- Jejum 15: peixes foram alimentados até a saciedade aparente por 15 dias, seguidos de 15 dias de jejum e posterior realimentação até a saciedade aparente por 25 dias.

Os alevinos foram alimentados diariamente com ração comercial contendo 45% de proteína bruta e com diâmetro de 1mm, para que os pêletes se ajustassem ao tamanho da boca dos peixes. Os parâmetros de qualidade da água, como oxigênio dissolvido (mg/L), pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) foram registrados semanalmente por meio de potenciômetros digitais portáteis, enquanto a temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) foi aferida diariamente.

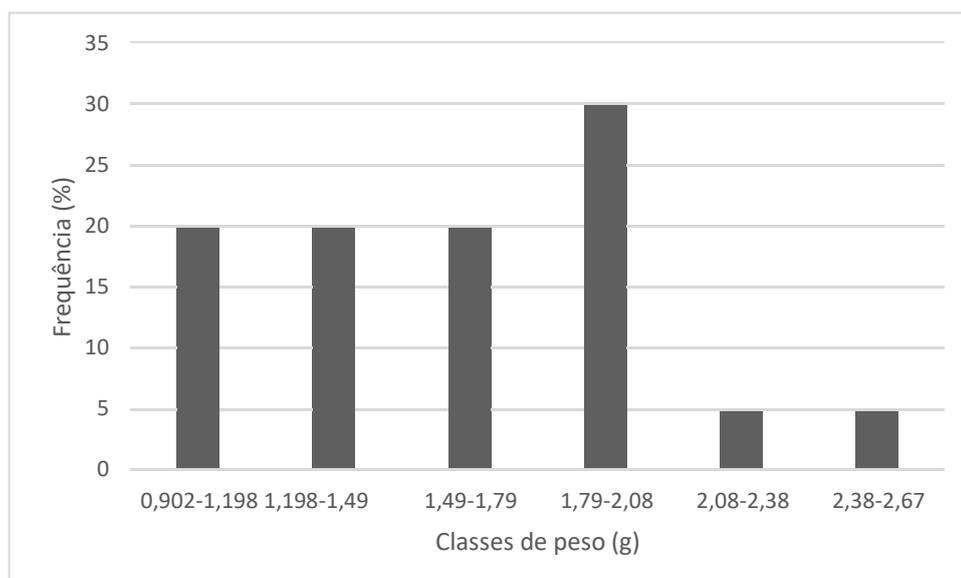


FIGURA 6. Uniformidade do lote de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) antes de serem submetidos a restrição alimentar e realimentação.

O desempenho zootécnico dos peixes foi analisado por meio do consumo de ração (CR), ganho individual de peso (GP), comprimento total (CT), taxa de crescimento específico (TCE), sobrevivência (S) e fator de condição (FC). Para calcular os índices zootécnicos foram utilizadas as seguintes fórmulas:

- Consumo total de ração (g): (total de ração consumida durante o experimento);
- Ganho individual de peso (g): (peso final – peso inicial);
- Ganho em peso relativo (%): [(peso final – peso inicial)/peso inicial]x100;
- Comprimento Total (cm): (comprimento final);
- Taxa de Crescimento Específico (%/dia): $[(\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial})/t] \times 100$. Onde ln = logaritmo neperiano e t = tempo em dias;
- Conversão alimentar: (consumo de ração/ganho de peso);
- Eficiência alimentar (%): (ganho em peso/consumo total e ração)x100;
- Sobrevivência (%): (população final / população inicial)x100;
- Fator de Condição: [(peso)/(comprimento total³)x100]

Durante o experimento, todos os peixes de cada unidade experimental foram pesados (g) e medidos (cm) para avaliação do crescimento muscular. Ao término do experimento, os peixes foram anestesiados em eugenol na dose de 100 mg.L⁻¹ (DELBON & RANZANI PAIVA, 2012) e abatidos para retirada de músculo esquelético branco dorsal para posteriores análises histológicas.

Para avaliar o crescimento muscular, foram capturados dois peixes de cada unidade experimental e induzidos à anestesia profunda até a perda de todas as reações. Com auxílio de uma lâmina, foi retirada uma amostra do músculo branco dorsal, acima da linha lateral. As amostras foram fixadas em formol tamponado 10% por 24 horas e processadas para inclusão em parafina. Cortes transversais semisseriados (6 µm) foram obtidos em micrótomo rotativo e submetidos à coloração hematoxilina-eosina. Para a morfometria, utilizando um sistema de análise de imagens, foi determinado o menor diâmetro de 200 fibras musculares, por animal, e agrupadas em classes de diâmetros (<20 µm, 20-50 µm e >50 µm) para avaliar a contribuição da hiperplasia e hipertrofia para o crescimento muscular (ALMEIDA et al. 2008).

Os resultados foram analisados através da Análise de Variância de um fator seguida pelo Teste de Tukey quando diferenças significativas foram detectadas (ZAR, 1999). Para isso, foi utilizado o programa computacional Statistic 7.1 (STATSOFT, 2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos parâmetros de qualidade da água, como oxigênio dissolvido (mg/L), pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) observados durante o experimento estão representadas na Tabela 1. Durante o experimento, os valores do oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica permaneceram dentro das faixas consideradas adequadas para o bom desenvolvimento espécie (KUBITZA, 2000). Porém a temperatura ficou abaixo da faixa ideal.

A faixa de temperatura considerada ideal para o desenvolvimento normal, reprodução e crescimento da tilápia é de cerca de 25° a 32°C (EL-SAYED et al., 2008). Embora a espécie seja tolerante a baixas temperaturas, se submetida a temperaturas menores que 25°C, seu crescimento é reduzido (SIFA et al., 2002).

TABELA 1. Valores médios de temperatura (C), pH, oxigênio dissolvido (mg/L), e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da água dos aquários de tilápia do Nilo submetidos nos tratamentos Controle, Jejum 10 e Jejum 15.

Parâmetros	Médias
Temperatura (°C)	17,7±2,22
pH	7,7±0,17
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,72±0,19
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	84,4±5,64

Ao final dos 55 dias de experimento, os peixes submetidos ao jejum de 10 dias apresentaram peso final semelhante aos peixes com alimentação contínua ($P>0,05$). Porém, os peixes que ficaram sob jejum de 15 dias não conseguiram compensar o crescimento quando realimentados, diferindo significativamente dos peixes com alimentação contínua ($P<0,05$). Essa situação confirma o reportado por Ali et al. (2003) que dizem que os peixes quando submetidos a jejum e realimentação podem exibir respostas compensatórias, de acordo com o tempo de restrição adotado.

Com relação a estas mesmas variáveis, entre os tratamentos Jejum 10 e Jejum 15, os resultados obtidos não apresentam diferenças significativas ($P>0,05$). Apesar disso, houve diferença significativa ($P<0,05$) entre os três tratamentos em relação ao ganho em peso relativo. A incapacidade da tilápia em recuperar o peso corporal, pode ter sido resultado do período mais longo de restrição alimentar resultando em menor ganho compensatório (Wang et al., 2000).

Estudos com várias espécies de teleósteos demonstram que há crescimento compensatório após um curto período de restrição alimentar (ITUASSÚ et al., 2004, SALOMÃO et al., 2017) e que longos períodos de restrição alimentar são fatores que não geram crescimento compensatório em tilápias do Nilo (PALMA et al. 2010).

Conforme a Tabela 2, os peixes alimentados continuamente apresentaram maior comprimento final do que os peixes que passaram por jejum de 15 dias ($P < 0,05$). Já entre os tratamentos com jejum de 10 dias e jejum de 15 dias não houve diferença significativa ($P > 0,05$), assim como entre os tratamentos Controle e Jejum 10 ($P > 0,05$). Arauco (2012) encontrou resultados semelhantes ao submeter tilápias do Nilo a diferentes períodos de jejum, em que o tratamento com fornecimento de ração a cada dois dias diferiu significativamente do tratamento controle (alimentados diariamente).

TABELA 2. Parâmetros de desempenho zootécnico de alevinos de tilápia do Nilo submetidos a diferentes manejos alimentares¹.

Variáveis	Tratamentos		
	Controle	Jejum 10	Jejum 15
Peso final (g)	3,48 ± 0,74 a	2,65 ± 0,08 ab	2,29 ± 0,24 b
Comprimento final (cm)	5,95 ± 0,42 a	5,46 ± 0,09 ab	5,26 ± 0,14 b
Consumo total de ração (g)	14,61 ± 1,87 a	9,04 ± 2,59 b	6,20 ± 2,18 b
Ganho em peso (g)	1,84 ± 0,74 a	1,01 ± 0,08 ab	0,65 ± 0,24 b
Ganho em peso relativo (%)	112 ± 0,38a	61 ± 0,03b	39 ± 0,13c
Taxa de crescimento específico (% dia)	1,29 ± 0,38 a	0,84 ± 0,05 ab	0,58 ± 0,18 b
Conversão alimentar	8,94 ± 2,89a	8,97 ± 2,36a	10,04 ± 3,26b
Eficiência Alimentar (%)	12,53 ± 4,33a	12,10 ± 3,77a	11,12 ± 3,67b
Fator de condição	1,63 ± 0,06	1,62 ± 0,08	1,57 ± 0,05

¹Média ± desvio padrão. Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Controle: peixes foram alimentados até a saciedade aparente durante todo período experimental; Jejum 10: peixes foram alimentados até a saciedade aparente por 15 dias, seguidos de 10 dias de jejum e posterior realimentação até a saciedade aparentes por 30 dias; Jejum 15: peixes foram alimentados até a saciedade aparente por 15 dias, seguidos de 15 dias de jejum e posterior realimentação até a saciedade aparente por 25 dias.

A taxa de crescimento específico (TCE) foi superior em Controle e inferior nos animais do grupo Jejum 15 ($P < 0,05$). Resultados semelhantes foram obtidos por Wang et al. (2000) em tilápia híbrida com restrições alimentares de uma, duas e quatro semanas, que encontraram diferenças entre os tratamentos com relação ao controle (alimentados diariamente). Segundo Baldisserotto (2009), existe uma estreita relação entre a taxa de crescimento e o gasto energético, ou seja, quanto maior a taxa de crescimento, maior o gasto energético. Isto poderia explicar os menores valores de TCE obtidos para o tratamento Jejum 15, pois com a alimentação mais restrita o crescimento foi menor.

Durante o jejum, para compensar a falta de nutrientes, ocorre uma redução e alteração do metabolismo; há a ativação das vias destinadas a obter energia a partir de fontes de armazenamento e inibição das vias destinadas a obter energia a partir da ingestão de alimentos (Salway, 2004). Essas alterações metabólicas são controladas pelo sistema endócrino, porém, os mecanismos envolvidos são complexos e pouco elucidados (Mommsen, 2002).

Apesar do processo de hiperfagia ser observado nos tratamentos com restrição alimentar, o consumo de ração foi superior nos peixes que receberam alimentação contínua ($P < 0,05$).

O tratamento Jejum 15 diferiu significativamente dos demais com relação à conversão alimentar ($P < 0,05$). Entretanto, a conversão alimentar permaneceu alta nos três tratamentos, provavelmente devido aos índices de qualidade da ração utilizada. Quanto à eficiência alimentar, os peixes que passaram por período mais prolongado de jejum apresentaram menor eficiência alimentar ($P < 0,05$), porém os valores alcançados pelos outros tratamentos não foram muito superiores.

Em relação ao fator de condição, não houve diferenças significativas entre os tratamentos Controle, Jejum 10 e Jejum 15, assim como observado por Takahashi (2007) em juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus* com a adoção de ciclos curtos de restrição e realimentação, durante 36 dias. Em juvenis de White fish, *Coregonus lavaretus*, a adoção de estratégias com ciclos compostos por dois dias de restrição seguidos de cinco de alimentação e dois dias de restrição seguidos de dois de alimentação não resultaram em alterações significativas no fator de condição, o que foi atribuído pelos autores a mecanismos compensatórios (KANKANEN & PIRHONEN, 2009).

A sobrevivência dos peixes do tratamento Jejum 15 foi inferior ao dos peixes do tratamento Controle e Jejum 10. A sobrevivência dos peixes nos tratamentos Controle e Jejum 10 foi de 69,4% e 63,8%, respectivamente (Figura 6). Os resultados encontrados neste experimento são superiores aos encontrados por Nebo (2011), em dois de seus grupos de tratamentos experimentais, J20 (jejum por 20 dias e realimentação por 22 dias) e JJ (jejum durante todo o período experimental). Porém, quando comparado ao estudo de Maregoni et al. (2009) a taxa de sobrevivência dos peixes do atual estudo é bem inferior. Além disso, os resultados da taxa de sobrevivência podem ter sido influenciada pelo tempo de restrição alimentar, indicando que a dieta não forneceu os requisitos nutricionais mínimos para os peixes nesta fase de crescimento, principalmente para os peixes do tratamento Jejum 15 que sofreram jejum prolongado, onde a taxa de sobrevivência foi de 49,9%, isso demonstra que o

tempo de restrição alimentar promoveu o catabolismo proteico, não havendo tempo suficiente para reverter o estado catabólico dos animais.

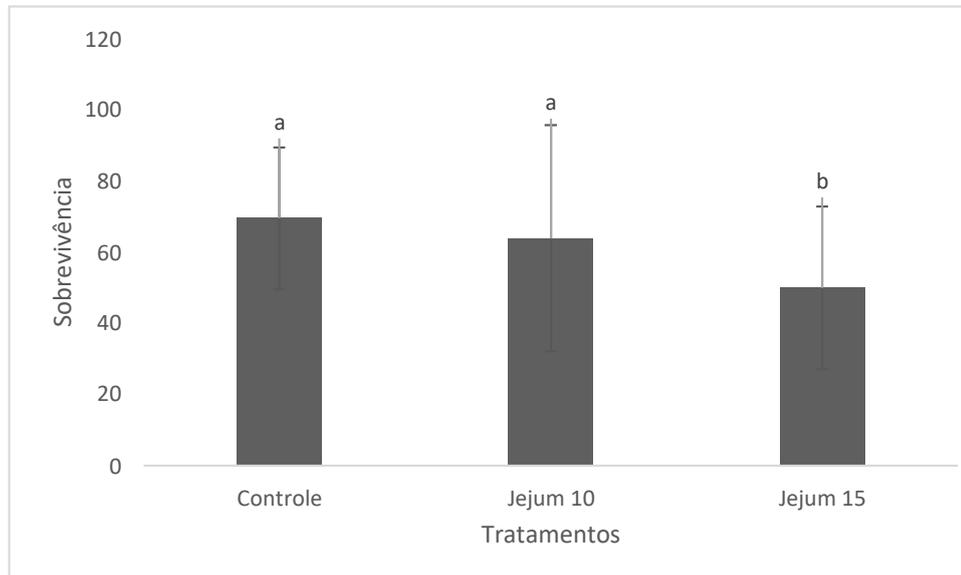


FIGURA 7. Sobrevivência de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidos a restrição alimentar e realimentação. Controle: peixes foram alimentados até a saciedade aparente durante todo período experimental; Jejum 10: peixes foram alimentados até a saciedade aparente por 15 dias, seguidos de 10 dias de jejum e posterior realimentação até a saciedade aparentes por 30 dias e Jejum 15: peixes foram alimentados até a saciedade aparente por 15 dias, seguidos de 15 dias de jejum e posterior realimentação até a saciedade aparente por 25 dias.

A menor distribuição das fibras musculares (Figura 7) foi constatada na classe 20µm, e nesta classe houve diferenças significativas ($P < 0,05$), entre os tratamentos, sendo que o tratamento Jejum 15 apresentou a menor quantidade de fibras com este diâmetro. Foi observada maior frequência de distribuição na classe de fibras com diâmetro entre 20 e 50 µm, porém sem diferenças significativas entre os tratamentos ($P > 0,05$), em todos os tratamentos alimentares, e foi expressiva a frequência na classe de fibras com diâmetro superiores a 50 µm, pois peixes nesta fase, geralmente apresentam fibras de até 50 µm. Possivelmente, nas condições de jejum, a realimentação promove uma reversão nos processos de mobilização de reservas corporais para suprir o catabolismo, somente quando esta condição estiver satisfeita, o destino da dieta será favorável novamente ao crescimento das fibras (HAGEN et al., 2009).

A análise morfométrica das fibras musculares foi caracterizada pelo crescimento ocorrido pela ação da hiperplasia e da hipertrofia. Fibras com diâmetros menores que 20 µm indicam ocorrência de hiperplasia, enquanto diâmetros entre 20 e 50 µm indicam hipertrofia e maiores que 50 µm relacionaram-se com final da hipertrofia (ROWLERSON e VEGGETTI,

2001). A maior frequência de fibras com diâmetros inferiores a 20 μm foi verificada nos tratamentos Controle e Jejum 10 (VALENTE et al., 1999), e esta hiperplasia é do tipo em mosaico, característica de peixes no período juvenil (JOHNSTON, 2004). Provável, os peixes do tratamento Jejum 15 passaram rapidamente para o período de hipertrofia das fibras musculares.

O crescimento muscular em peixes teleósteos é um processo altamente dinâmico e complexo. Diversos fatores contribuem para esta complexidade, sendo que alguns deles refletem a necessidade dos peixes em se adaptar às condições físico-químicas impostas em seu habitat (KILLEEN et al., 1999), e outro com efeito pronunciado, é a nutrição. Tais adaptações além de promoverem alterações no crescimento muscular, alteram o padrão de desenvolvimento, e no fenótipo muscular. (JOHNSTON, 2006).

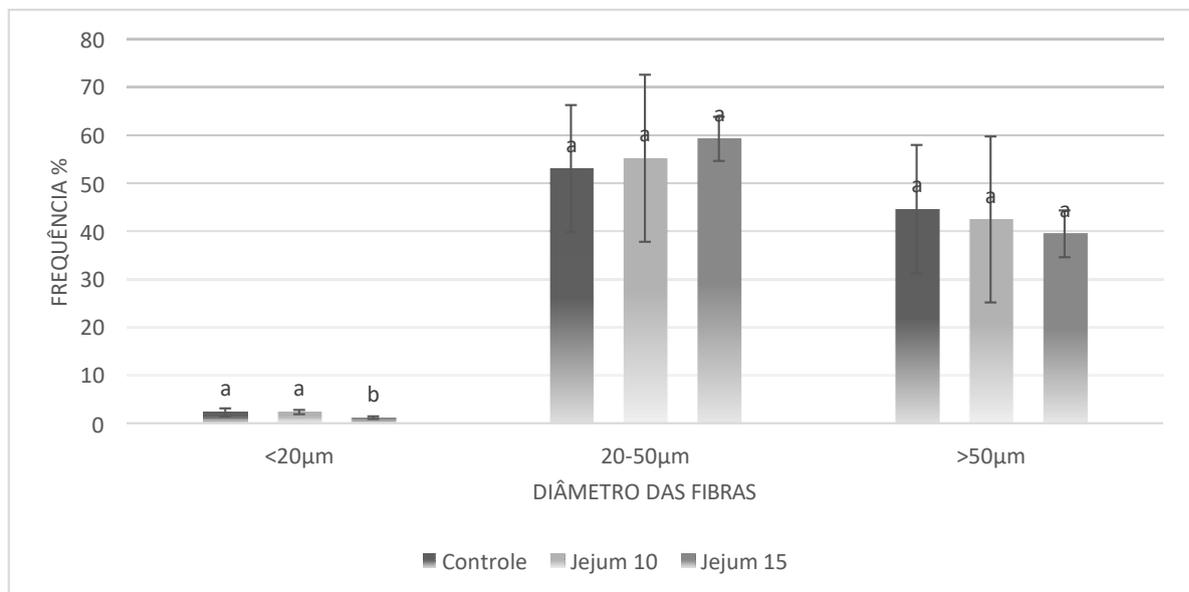


FIGURA 8. Distribuição de frequência (%) de diâmetros das fibras dos peixes submetidos a diferentes estratégias de alimentação nos tratamentos Controle, Jejum 10 e Jejum 15.

Com relação ao crescimento muscular, foi verificado, nos peixes submetidos aos tratamentos Controle, Jejum 10 e Jejum 15, características morfológicas normais, sendo constituída por fibras poligonais ou arredondadas separadas por um fino septo de tecido conjuntivo. As fibras musculares apresentaram variados diâmetros, distribuídas em um padrão de crescimento em mosaico.

A partir dos períodos de restrição alimentar, os peixes do tratamento Jejum 10 e Jejum 15 não apresentaram alterações morfológicas nas fibras musculares em relação aos peixes do tratamento Controle (Figura 8). Poucos estudos relatam o efeito da restrição

alimentar e a re-alimentação sobre a morfofisiologia das fibras musculares nos peixes. Em trabalhos com adultos de matrinxãs (*Brycon cephalus*) submetidos a ciclos de restrição alimentar de dois dias de jejum e três dias de realimentação durante um ano, os resultados mostraram que o jejum não afetou o crescimento, a composição dos músculos vermelho e branco e a porcentagem de lipídio muscular mostrando que a restrição alimentar não altera a dinâmica dos nutrientes nos tecidos musculares (CARVALHO e URBINATI, 2005). O mesmo resultado foi encontrado em juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), após ciclos repetitivos de três dias de restrição alimentar e três dias seguidos de realimentação controlada ou até a saciedade aparente durante 36 dias (TAKAHASHI, 2007).

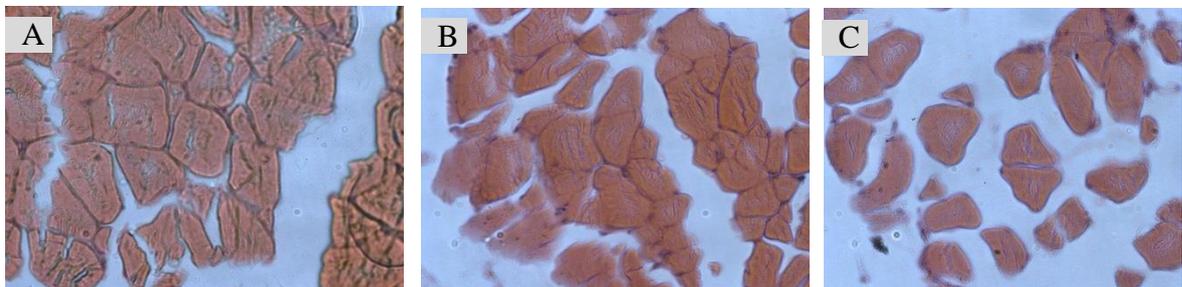


FIGURA 9. Fotomicrografia em corte transversal de tecido muscular de alevinos de tilápia do Nilo. A) Tratamento Controle com alimentação contínua. B) Tratamento Jejum 10 com período de 10 dias de restrição alimentar. C) Tratamento Jejum 15 com período de 15 dias de restrição alimentar. Coloração Hematoxilina/Eosina. Aumento de 40X.

Trabalhos relacionando o manejo alimentar com a morfologia e morfometria das fibras musculares em peixes ainda são incipientes, porém é crescente e significativa a influência da nutrição dos peixes no desenvolvimento dessas fibras. O manejo alimentar, atuou diretamente nas alterações das fibras, contudo, mais estudos são necessários para o melhor entendimento deste processo.

5. CONCLUSÃO

Houve compensação no crescimento corporal e no crescimento das fibras musculares dos peixes submetidos à restrição alimentar no período de 10 dias, com 30 dias de realimentação. Porém, os animais que passaram por um período de jejum maior, de 15 dias, não obtiveram o mesmo resultado.

A restrição alimentar durante períodos mais longos não é recomendada para alevinos de tilápia do Nilo, pois resulta no desenvolvimento lento do animal. Entretanto, períodos

menores de restrição alimentar podem ser utilizados, visto que apresentaram crescimento compensatório.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J.I. **Caracterização, avaliação econômica e eficiência de escala (DEA) na produção de tilápia em tanques-rede e de tambaqui em viveiros escavados**. 2005, 154 f. Tese (Doutorado em aquicultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal-SP.

AGUIAR, D. H.; BARROS, M. M.; PADOVANI, C. R.; PEZZATO, L. E.; DAL PAI-SILVA, M. Growth characteristics of skeletal muscle tissue in *Oreochromis niloticus* larvae fed on a lysine supplemented diet. **Journal of fish biology**, v. 67, n. 5, p. 1287-1298, 2005.

ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R. J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. **Fish and fisheries**, v. 4, n. 2, p. 147-190, 2003.

ALMEIDA, F. L. A.; CARVALHO, R. F.; PINHAL, D.; PADOVANI, C.R. Differential expression of myogenic regulatory factor MyoD in pacu skeletal muscle (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg 1887: Serrasalminae, Characidae, Teleostei) during juvenile and adult growth phases. **Micron**, v. 39, n. 8, p. 1306-1311, 2008.

ALTRINGHAM, J.D.; ELLERBY, D. J. Fish swimming: patterns in muscle function. **Journal of Experimental Biology**, v. 202, n. 23, p. 3397-3403, 2000.

ANDRADE, R.L.B.D.; WAGNER, R.L.; MAHL, I.; MARTINS, R.S. Custos de produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade da região oeste do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p. 198-203, 2005.

ARAUCO, L. R. R.; COSTA, V. B. Restrição alimentar no desempenho produtivo da tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 2, p. 134-138, 2012.

BALDISSEROTTO, B. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura. 2. ed. Santa Maria, UFSM, 2009. 211 p.

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; SOARES, C. M.; FURUYA, W. M.; MEURER, F. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagens tailandesa e comum, nas fases inicial e de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 5, p. 1391-1396, 2001.

CARVALHO, E. G.; URBINATI, E. C. Crescimento, desenvolvimento gonadal e composição muscular de matrinxas (*Brycon cephalus*) submetidos a restrição alimentar e realimentação durante um ano. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 897-908, 2005.

DAN, N. C.; LITTLE, D.C. The culture performance of monosex and mixed-Sex new-season and overwintered fry in the three strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in northern Vietnã. **Aquaculture**, v.184, n. 3-4, p. 221-231, 2000.

DELBON, M. C. E.; PAIVA, M. J. T. R. Eugenol em juvenis de tilápia do Nilo: concentrações e administrações sucessivas. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 38, n. 1, p. 43- 52, 2012.

EL-SAYED, A. F. M. & KAWANNA, M. Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. **Aquaculture Research**, v. 39, n. 6, p. 670-672, 2008.

EL-SAYED, Abdel-Fattah M. **Tilapia culture**. 1 ed. CABI, 2006. 276p.

FERREIRA, L.S.B.P.; NUNER; A.P.O., 2015. Food deprivation and compensatory growth in juvenile piava, *Leporinus obtusidens*. **Bol. do Inst. Pesca**, v. 41, n. 3, p. 471-478, 2015.

FURNÉ, M.; MORALES, A. E.; TRENZADO, C. E.; GARCÍA-GALLEGO, M.; HIDALGO, M. C.; DOMEZAIN, A.; RUS, A. S. The metabolic effects of prolonged starvation and refeeding in sturgeon and rainbow trout. **Journal of Comparative Physiology: Part B**, Philadelphia, v. 182, n. 1, p. 63-76, 2012.

FURUYA, W.M. et al. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 1143-1149, 2001.

GAYLORD, T. G.; GATLIN, D. M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 194, n. 3-4, p. 337-348, 2001.

GURNEY, W. S. C.; JONES, W.; VEITCH, A. T.; NISBET, R. M. Resource allocation, hyperphagia, and compensatory growth in juveniles. **Ecology**, Hoboken, v. 84, p. 2777-2787, 2003.

HAGEN, O.; FERNANDES, J.M.O.; SOLBERG, C.; JOHNSTON, I.A. Expression of growth-related genes in muscle during fasting and refeeding of juvenile Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L. **Comparative Biochemistry and Physiology**. v.152, n. 1, p. 47-53, 2009.

HORNICK, J.L.; VAN EENAEME, C.; GÉRARD, O.; DUFRASNE, I.; ISTASSE, L. Mechanisms of reduced and compensatory growth. **Domestic animal endocrinology**, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2000.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** - Produção da Pecuária Municipal, v. 41, p. 37-50, 2016.

ITUASSÚ, D. R.; DOS SANTOS, G. R. S.; ROUBACH, R.; PEREIRA-FILHO, M. Desenvolvimento de tambaqui submetido a períodos de privação alimentar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1199-1203, 2004.

JOHNSTON, I. A. **Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish**. **Aquaculture**, v. 177, n. 1-4, p. 99-115, 1999.

JOHNSTON, I. A.; HALL, T. E. Mechanisms of Muscle Development and Responses to Temperature Change in Fish Larvae. **American Fisheries Society Symposium**, v. 40, n. 1, p. 85-116, 2004.

- JOHNSTON, I. A. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish. **The Journal of experimental biology**, v. 209, n. 12, p. 2249-2264, 2006.
- KANKANEN, M.; PIRHONEN, J. The effect of intermittent feeding on feed intake and compensatory growth of whitefish *Coregonus lavaretus* L. **Aquaculture**, v.288, n. 1-2, p.92-97, 2009.
- KILLEEN, J.; MCLAY, H.; JOHNSTON, I. A. Development in *Salmo trutta* at different temperatures, with a quantitative scoring method for intraspecific comparisons. **Journal of Fish Biology**, 55, n. 2, p. 382-404, 1999.
- KOJIMA, J. T.; LEITÃO, N. J.; MENOSSI, O. C. C.; FREITAS, T. M.; DAL-PAI SILVA, M.; PORTELLA, M. C. Short periods of food restriction do not affect growth, survival or muscle development on pacu larvae. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 436, p. 137–142, 2015.
- KOUMANS, J.T.M.; ASKER, H.A. Myogenic cells in development and growth of fish. **Comparative Biochemistry and Physiology**, V. 110 A, p. 3-20, 1995.
- KUBITZA, F. Ajustes na nutrição e alimentação das tilápias. **Revista Panorama da Aquicultura**. Rio de Janeiro, novembro/dezembro, p. 14, 2000.
- LOVSHIN, L. L. Tilapia farming: a growing worldwide aquaculture industry. **Simpósio Sobre Manejo e Nutrição de Peixes**, v. 1, p. 137-164, 1997.
- LUNDSTEDT, L. M. **Aspectos adaptativos dos processos digestivo e metabólico de juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) arraçoados com diferentes níveis de proteína e energia**. 2003. 153 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- MARECO, E. A. **Efeitos da temperatura na expressão de genes relacionados ao crescimento muscular em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) linhagem Gift**. 2012. 62 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2012.
- MARENGONI, N. G.; POZZA, M. S. D. S.; BRAGA, G. C.; LAZZERI, D. B.; CASTILHA, L.D.; BUENO, G. W.; POLESE, C. Caracterização microbiológica, sensorial e centesimal de fishburgers de carne de tilápia mecanicamente separada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 10, n. 1, 2009.
- MAURO, A. Satellite cell of skeletal muscle fibers. **The Journal of biophysical and biochemical cytology**, v. 9, n. 2, p. 493, 1961.
- MELO, C. C. V.; DA COSTA, D. V.; GONÇALVES, A. C. S.; LEIRA, M. H.; BOTELHO, H. A.; DA CRUZ OLIVEIRA, K. K.; DE FREITAS, R. T. F. Desenvolvimento dos tecidos muscular e adiposo em linhagens de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus*. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 72-82, 2016.
- MOMMSEN, T. P.; SILVERSTEIN, J. T.; PLISETSKAYA, E. M.; WHITTAKER, L. J.; WHITTAKER, J.; CONLON, J. M. Two insulins from channel catfish: purification,

structures, receptor-binding and cDNA sequences. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 25, n. 1, p. 61-71, 2001.

MONTSERRAT, N.; GABILLARD, J.C.; CAPILLA, E.; NAVARRO, M.I.; GUTIÉRREZ, J. Role of insulin, insulin-like growth factors, and muscle regulatory factors in the compensatory growth of the trout (*Oncorhynchus mykiss*). **General and Comparative Endocrinology**. v 150, N. 3, p. 462-472, 2007.

NAVARRO, I.; GUTIÉRREZ, J. Fasting and starvation. **Biochemistry and molecular biology of fishes, metabolic biochemistry**. Amsterdam, Elsevier, v.4, p. 393–434, 1995.

NEBO, C. **Respostas metabólicas, morfologia do tecido muscular e expressão dos genes relacionados ao crescimento e à atrofia muscular durante o jejum e realimentação em juvenis de tilápia-do-Nilo**. 2015, 91p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

PALMA, E. H. et al. Feeding strategies with cycles of restriction and refeeding on growth performance of Nile tilapia juveniles, GIFT line. **Ciência Rural**, v. 40, n. 2, p. 391-396, 2010.

PEREIRA, R. T. Morfologia e Crescimento do Músculo Estriado Esquelético em Peixes: Técnicas de Estudo e Análise. **Universidade Federal de Lavras**, 2016.

RESCAN, P. Y. Regulation and functions of myogenic regulatory factors in lower vertebrates. **Comparative biochemistry and physiology. Part B, Biochemistry e molecular biology**, v. 130, n. 1, p. 1-12, 2001.

RIOS, F.S.; KALININ, A.L.; RANTIN, F.T. The effects of long-term food deprivation on respiration and haematology of the neotropical fish *Hoplias malabaricus*. **Journal of Fish Biology**, v. 61, n. 1, p. 85-95, 2002.

ROWLERSON, A.; VEGGETTI, A. Cellular mechanisms of post-embryonic muscle growth in aquaculture species. **Fish physiology**, v. 18, p. 103-140, 2001.

SALOMÃO, R. A. S. **Crescimento compensatório em linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) cultivadas em ambiente resfriado: morfologia muscular e expressão de genes relacionados ao crescimento muscular**. 2014. viii, 47 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Centro de Aquicultura de Jaboticabal, 2014.

SALWAY J.G. **Metabolism at a Glance**, 3rd ed. Blackwell Publishing Ltd., Malden, MA. 2004.

SANGER, A. M.; STOIBER, W. Muscle fiber diversity and plasticity. **Fish physiology**, v. 18, p. 187-250, 2001.

SCORVO FILHO, J.D. **Avaliação técnica e econômica das piscigranjas de 3 regiões do estado de São Paulo**. 1999. 120f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal.

SIFA, L.; CHENHONG, L.; DEY, M.; GAGALAC, F.; DUNHAM, R. Cold tolerance of three strains of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in China. **Aquaculture**, v. 213, n. 1-4, p. 123-129, 2002.

SILVA-GOMES, R. N. **Análise proteômica do músculo esquelético de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) após jejum prolongado e durante crescimento compensatório**. 2018. Tese (Biologia Geral e Aplicada)- Instituto de Biociências da UNESP, Botucatu.

SOUZA, V. L., URBINATI, E. C., MARTINS, M. I. E. G., & SILVA, P. C. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, P. 19-28, 2003.

SQUASSONI, G. H. Desenvolvimento de ferramentas moleculares para elucidação de mecanismos de ajustes fisiológicos do pacu submetido a jejum. 2015. 111p. Tese (Doutorado em Aquicultura) Universidade Estadual Paulista-UNESP, Jaboticabal.

STATSOFT, Inc. (2005). STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com.

STELLABOTTE, F., E DEVOTO, S. H. The teleost dermomyotome. **Developmental dynamics: an official publication of the American Association of Anatomists**, v. 236, n. 9, p. 2432-2443, 2007.

STICKNEY, R. R. Status of research on tilapia. **Tilapia aquaculture in the Americas**, v. 2, p. 21-22, 2000.

TACHIBANA, L.; CASTAGNOLLI, N. Custo na alimentação dos peixes: é possível reduzir mantendo qualidade. **Revista Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v.13, n. 75, p. 55-57, 2003.

TACHIBANA, L.; CASTAGNOLI, N.; PEZZATO, L.E. et al. Desempenho de diferentes linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de reversão sexual. **Acta Scientiarum Animal Sciences**. v.26, n.3, p.305-311, 2004.

TAKAHASHI, L. S.; BILLER, J. D.; CRISCUOLO-URBINATI, E.; URBINATI, E. C. Feeding strategy with alternate fasting and refeeding: effects on farmed pacu production. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 95, p. 259-266, 2011.

TAKAHASHI, L.S. **Estratégia alimentar, teores de carboidratos dietéticos, desempenho e respostas fisiológicas do pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**. 2007. 89f. Tese (doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

TIAN, XIANGLI; QIN, JIAN G. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. **Aquaculture**, v. 224, n. 1-4, p. 169-179, 2003.

URBINATI, E.C. 2010. Manejo Alimentar e Reprodução de peixes. IAP, 2010.

VAN DER MEER, M.B.; ZAMORA, J. E.; VERDEGEM, M.C.J. Effect of dietary lipid level on protein utilization and the size and proximate composition of body compartments of *Colossoma macropomum* (Cuvier). **Aquaculture Research**, Oxford, v.28, p.405-417, 1997.

VASYUTINA, E.; LENHARD, D.C.; BIRCHMEIER, C. Notch function in myogenesis. **Cell cycle**, v. 6, n. 12, p. 1450-1453, 2007.

VERAS, G. C.; MURGAS, L. D. S.; ZANGERONIMO, M. G.; OLIVEIRA, M. M.; ROSA, P. V.; FELIZARDO, V. O. Ritmos Biológicos e fotoperíodo em peixes. **Archivos de Zootecnia**, v. 62, p. 25-43, 2013.

WANG, Y.; CUI, Y.; YANG, Y.; CAI, F. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in sea water. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 189, p. 101-108, 2000.

WATABE, S. Myogenic regulatory factors and muscle differentiation during ontogeny in fish. **Journal of Fish Biology**, v. 55, p. 1-18, 1999.

WATANABE W.O., LOSORDO T.M., FITZSIMMONS K. & HANLEY F. 2002. Tilapia production systems in the americas: technological advances, trends, and challenges. **Reviews in fisheries science**, v. 10, n. 3-4, p. 465-498, 2002.

WEATHERLEY, A. H., & GILL, H. S. **The Biology of Fish Growth**. London: Academic Press, 1987.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Pearson Education India, 1999.

ZHANG, S., BHATTACHARYA, H.; Li, H. **Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes)**. Nature, 2001.