



Nutri·Time

Revista Eletrônica

Vol. 18, Nº 04, jul/ago de 2021

ISSN: 1983-9006

www.nutritime.com.br

A Nutritime Revista Eletrônica é uma publicação bimestral da Nutritime Ltda. Com o objetivo de divulgar revisões de literatura, artigos técnicos e científicos bem como resultados de pesquisa nas áreas de Ciência Animal, através do endereço eletrônico: <http://www.nutritime.com.br>. Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

RESUMO

Peixes são ideais para a realização de exercício contínuo por dias, possibilitando o estudo de seus efeitos por longos períodos em associação ao uso de dietas variáveis. O exercício pode contribuir para a criação mais eficiente de peixes melhorando seu crescimento, FCA, sobrevivência e reduzindo o seu comportamento agressivo. Dieta balanceada e protocolo de exercício aeróbico bem estabelecidos podem promover maiores taxas de crescimento. O projeto se propõe a otimização do desempenho de pacu sob exercício aeróbico submetido a regimes variados de carboidratos e lipídios, o objetivo será atingido com o exercício em velocidade ideal, determinada através do seu desempenho zootécnico, das respostas metabólicas, das respostas digestivas enzimáticas, dos níveis de carboidratos e lipídios da dieta e das atividades de enzimas do metabolismo. O projeto em dois experimentos, ao longo de 60 dias cada, utilizando pacus juvenis monitorados individualmente por marcação eletrônica. No primeiro será determinada a velocidade ideal do exercício, no segundo, sob essas condições pré-estabelecidas, os peixes serão avaliados em resposta a situações distintas de alimentação.

Palavras-chave: exercício aeróbico, peixes, crescimento, metabolismo, criação.

Exercício aeróbico de longa duração em peixes pode otimizar o crescimento

Exercício aeróbico, peixes, crescimento, metabolismo, criação.

Anderson Ferreira Santana^{1*}

Gesyane Bentos França²

Frederico Antonio Basmage Vasconcelos³

Silvia Prestes dos Santos⁴

Claucia Aparecida Honorato⁵

¹Acadêmico do curso de engenharia de aquicultura, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). *E-mail: andersonferreirasantana@gmail.com.

²Acadêmica do curso de engenharia de aquicultura, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

³Acadêmico do mestrado em zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

⁴Acadêmica do mestrado em zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

⁵Professora Doutora do curso de Engenharia de aquicultura, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

LONG-TERM AEROBIC EXERCISE IN FISH CAN OPTIMIZE GROWTH

ABSTRACT

Fish are ideal for continuous exercise for days, making it possible to study its effects over long periods in association with variable diets. Exercise can contribute to more efficient rearing of fish by improving their growth, FCF, survival and reducing their aggressive behavior. Well established balanced diets and aerobic exercise protocols can promote higher growth rates. The project aims to optimize the performance of pacu under aerobic exercise subjected to varying carbohydrate and lipid regimes. The objective will be achieved by exercising at optimal speed, determined through their zootechnical performance, metabolic responses, digestive enzymatic responses, dietary carbohydrate and lipid levels, and metabolism enzyme activities. The project in two experiments, over 60 days each, using juvenile pacu individually monitored by electronic tagging. In the first, the optimal exercise speed will be determined, and in the second, under these pre-established conditions, the fish will be evaluated in response to different feeding situations.

Keyword: aerobic exercise, fish, growth, metabolism, rearing.

INTRODUÇÃO

O exercício moderado de longa duração é um procedimento que pode contribuir significativamente para a criação mais eficiente de peixes. Esta prática melhora o crescimento, as taxas de conversão alimentar, adapta as respostas fisiológicas e bioquímicas em favor do crescimento, aumenta as taxas de sobrevivência e diminui o comportamento agressivo de diversas espécies (DAVISON, 1997; SHANGAVI & WEBER, 1999; YOGATA & OKU, 2000; AZUMA et al., 2002; HACKBARTH & MORAES, 2006). Em outras palavras, não somente uma dieta balanceada é capaz de influenciar sobre o comportamento, a integridade estrutural, a saúde, as funções fisiológicas, a reprodução e o crescimento dos peixes: o exercício pode contribuir significativamente para o crescimento em menor tempo quando comparados espécimes que se exercitam com não exercitados (YOUNG & CECH JR., 1994; DAVISON, 1997; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000; AZUMA et al., 2002; HAKCBARTH & MORAES, 2006). Como os peixes são capazes de realizar exercício contínuo por dias ou meses, tornam-se ideais para o estudo dos efeitos do exercício por longos períodos, em combinação com dietas contendo níveis variáveis de energia. A sustentabilidade tem se tornado cada vez mais discutida dentro da aquicultura. Devido a demanda na produção de peixes há um grande interesse em otimizar as condições de cultivo sem prejudicar o bem-estar e saúde desses animais (PALSTRA, 2014). Os peixes criados em altas densidades ou em baixo fluxo de água não exibem completamente o seu potencial em natação, prejudicando o seu comportamento natural. Sendo assim, estão sendo aplicados exercícios de natação em velocidade de forma não invasiva e econômica que podem resultar no aumento do crescimento desses espécimes criados nessas condições (PALSTRA & PLANAS, 2011).

A piscicultura brasileira produziu 697 mil toneladas de peixes de cultivo no ano de 2017 onde representa 51,7% da piscicultura nacional, é 8% superior ao ano de 2016 (Associação Brasileira da Piscicultura, PEIXE BR), sendo a tilápia a principal espécie. Em segunda posição temos os nativos onde representam 43,7% da produção, de acordo com a

pesquisa PEIXE BR, destacam-se ainda carpas e trutas representando 4,6%.

Entretanto, ainda pouco se sabe sobre a capacidade natatória e a resposta ao crescimento de peixes neotropicais expostos ao exercício de longa duração. Portanto, objetiva-se com essa breve revisão o exercício aeróbico de longa duração em peixes neotropicais. O exercício de natação aeróbico, que também pode ser chamado de exercício de longa duração ou de resistência, é um exercício caracterizado pela utilização do metabolismo aeróbico, que pode contribuir significativamente para a criação mais eficiente de peixes, podendo ser mantido por longos períodos sem resultar em fadiga e acúmulo de lactato (JOBBLING, 1994; DAVISON, 1997; HOLK & LYKKEBOE, 1998; AZUMA et al., 2002).

Como os peixes são capazes de realizar exercício contínuo, tornam-se ideais para o estudo dos efeitos do exercício por longos períodos, em combinação com dietas contendo níveis variáveis de energia, influenciando sobre o comportamento, a integridade estrutural, a saúde, as funções fisiológicas, a reprodução e o crescimento dos peixes, contribuindo para o crescimento em menor tempo quando comparados espécimes que se exercitam com não exercitados (YOUNG & CECH JR., 1994; DAVISON, 1997; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000; AZUMA et al., 2002; HAKCBARTH & MORAES, 2006).

As diferenças no crescimento de peixes exercitados ocorrem de acordo com a espécie e com o tipo de treinamento realizado. Mesmo peixes considerados sedentários, com pouca habilidade natatória, podem ser beneficiados pelo exercício (OGATA & OKU, 2000). Quando os peixes são exercitados a velocidades ótimas (30-60% da velocidade máxima que eles podem atingir) geralmente apresentam boas taxas de conversão alimentar, bem como peso e comprimento maiores do que aqueles peixes mantidos em ambientes de águas estacionárias (JOBBLING, 1993; YOUNG & CECH JR., 1994; JOBBLING, 1994; DAVISON, 1997; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000; AZUMA et al., 2002; BUGEON et al., 2003; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Existem algumas espécies que também respondem

positivamente quando o exercício é interrompido, obtendo-se ganho de peso mesmo no período em que não se exercitam (DAVISON, 1997; BUGEON et al., 2003).

A oxidação dos lipídeos contribui para o metabolismo energético de muitos tecidos, inclusive dos músculos (VAN DEN THILLART & AMP; VAN RAAJI, 1995; WEBER & AMP; HAMAN, 1996). De acordo com Weber & amp; Haman (1996), provavelmente o exercício aeróbico permite tanto um aumento da mobilização de TGL e AGL através do plasma para os tecidos requisitados, como da sua oxidação nas mitocôndrias das células musculares.

O exercício aeróbico, que também pode ser chamado de exercício de longa duração ou de resistência, é caracterizado pela utilização do metabolismo aeróbico, podendo ser mantido por longos períodos, de dias até meses, sem resultar em fadiga e acúmulo de lactato (JOBLING, 1994; DAVISON, 1997; HOLK & LYKKEBOE, 1998; AZUMA et al., 2002). Diversos peixes têm apresentado melhores taxas de crescimento quando expostos a este tipo de atividade, como salmões (*Salmo salar*, *Onchorhynchus masou masou*), trutas (*Salmo trutta*, *Oncorhynchus mykiss*), "striped bass" (*Morone saxatilis*), "red sea bream" (*Pagrus major*) e "yellowtail" (*Seriola quinqueradiata*) (YOUNG & CECH JR., 1994; DAVISON, 1997; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000; AZUMA et al., 2002). Entretanto, ainda pouco se sabe sobre a capacidade natatória e a resposta ao crescimento de peixes neotropicais expostos ao exercício de longa duração.

Quando um peixe é exercitado a velocidades moderadas, o maior crescimento não se deve a um maior consumo de alimento, mas sim, à sua capacidade de converter melhor o alimento ingerido, utilizando-o para crescer e não para manter sua dominância sobre outros peixes. Com o exercício, a ração também é melhor distribuída e os peixes crescem mais uniformemente (JOBLING, 1994; WOOD, 2001; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Quando realizada sem interrupções, esta atividade reorganiza o metabolismo poupando gastos extras provenientes

do exercício, permitindo maior síntese proteica e aumentando o catabolismo lipídico e glicídico, o que favorece o crescimento (DAVISON, 1997; MOYES & WEST, 1995; WOOD, 2001; RICHARDS et al., 2002; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Matrinxãs (*Brycon cephalus*) exercitados por 72 dias, a velocidade de 1cc/seg, apresentaram melhores taxas de conversão alimentar e de crescimento, com ganho de peso superior a 38% (HACKBARTH & MORAES, 2006). Também apresentaram maior capacidade para oxidar lipídios e carboidratos, com catabolismo superior a 40% e 15%, respectivamente, ao mesmo tempo em que apresentaram maior efeito poupador de proteína, com acréscimo no conteúdo proteico e de aminoácidos superior a 30% e 16%, respectivamente. Em outro estudo realizado com matrinxãs (*Brycon amazonicus*) exercitados a 1cc/seg, observou-se melhores taxas de crescimento e de conversão alimentar, maior oxidação de lipídios e carboidratos (40% e 15%) e maior síntese de proteína muscular (30%) (ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Ainda neste estudo, o autor deixa claro que boas taxas de crescimento dependem da velocidade em que os peixes se exercitam, pois ao se exercitarem a 1,0 e 1,5 cc/s, apresentaram melhores taxa de crescimento e, quando nadaram a 2,0 cc/s apresentaram respostas de crescimento similares ao grupo sem exercício. Isto mostra a importância em se determinar a velocidade correta para a execução da atividade de longa duração para cada espécie.

Já que o exercício de longa duração favorece o crescimento ao permitir que o peixe metabolize melhor o alimento ofertado, sua execução poderia contribuir para diminuir um problema enfrentado no cultivo de peixes, o qual está relacionado aos gastos com alimentos. Estes representam de 50 a 70% dos custos de produção, e uma significativa redução nesta porcentagem pode ser alcançada através da utilização de ingredientes de alta qualidade, do uso de técnicas eficazes de processamento das rações e da aplicação de estratégias na alimentação e na criação (KUBITZA, 1998). O exercício aeróbico poderia desta forma, auxiliar no aproveitamento da dieta proporcionando maior crescimento em menor tempo, já que com sua realização os peixes aumentam o consumo de fontes não-proteicas.

Sabe-se que os peixes obtêm energia através do metabolismo de carboidratos, lipídios e proteínas, sendo os açúcares a fonte mais econômica das três. Entretanto, algumas espécies têm mais habilidade em digeri-los do que outras (KUBITZA, 1998; MOON & FOSTER, 1995; LEE et al., 2003). Por isso é de suma importância determinar quais os níveis de exigência de carboidratos para cada espécie, pois tanto altas como baixas concentrações na dieta inibem a ingestão de alimentos, acarretam a deposição de gordura corporal e favorecem o catabolismo proteico (LEE et al., 2003), prejudicando o crescimento e encarecendo o cultivo. Outro ponto importante é que os carboidratos também proporcionam uma ação poupadora da proteína, podendo esta ser direcionada ao crescimento e não à manutenção energética (TACON, 1989; LUNDSTEDT, 2003).

Os lipídios são considerados a principal fonte de energia não proteica para os peixes, particularmente os ácidos graxos livres derivados de gorduras e óleos (TACON, 1989; VAN DEN THILLART & VAN RAAJI, 1995; WEBER & HAMAN, 1996), contribuindo para o metabolismo energético de muitos tecidos. Kim & Lee (2005) acreditam que os lipídios são boas fontes de energia não-proteica quando comparadas aos carboidratos por serem nutrientes de energia densa, mais facilmente metabolizada pelos peixes.

No exercício de longa duração em peixes a contribuição dos lipídeos e dos carboidratos torna-se maior, resultando em maior crescimento e favorecendo o efeito poupador de proteína (MOYES & WEST, 1995; FORSTER & OGATA, 1996; WEBER & HAMAN, 1996; DAVISON, 1997; OGATA & OKU, 2000; RICHARDS et al., 2002; WOOD, 2001). Os carboidratos são essenciais para o metabolismo de todos os vertebrados, entretanto, a intensidade do exercício e a disponibilidade de oxigênio determinam a preferência metabólica (VAN DEN THILLART & VAN RAAJI, 1995). A eventual dificuldade dos peixes em utilizar os açúcares como fonte energética é suprida pela sua capacidade em utilizar outros precursores para manter a glicemia, como lactato, aminoácidos, glicerol e frutose (MOON & FOSTER, 1995), porém, o papel dos carboidratos é muito menor quando comparado ao dos lipídios e das proteínas (MOYES & WEST, 1995).

A oxidação dos lipídeos contribui para o metabolismo energético de muitos tecidos, inclusive dos músculos (VAN DEN THILLART & VAN RAAJI, 1995; WEBER & HAMAN, 1996). De acordo com Weber & Haman (1996), provavelmente o exercício aeróbico permite tanto um aumento da mobilização de TGL e AGL através do plasma para os tecidos requisitados, como da sua oxidação nas mitocôndrias das células musculares. Entretanto, algumas espécies podem mobilizar lipídios mais que outras (WEBER & HAMAN, 1996; FORSTER & OGATA, 1996; BERNARD et al., 1999; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000).

Com relação às proteínas, pode-se afirmar que o organismo dos peixes apresenta uma preferência marcante por essas biomoléculas, e a quantidade de aminoácidos requerida está relacionada diretamente ao seu estado nutricional variando de acordo com a espécie (MOYES & WEST, 1995). Entretanto, o ajuste dos níveis de proteína da dieta aos mínimos exigidos reflete-se em redução na emissão de compostos nitrogenados para o ambiente e na economia dos recursos disponíveis, pois a substituição da energia proteica da dieta pela energia dos lipídeos e/ou carboidratos pode resultar em maior produção por unidade consumida de fontes proteicas de alto custo (HILLESTAD et al., 2001). É por isso que a fração proteica da dieta não é apenas um componente decisivo para a sua qualidade, mas também determina os custos de elaboração da ração (KUBITZA et al., 1998; KIM & LEE, 2005).

O exercício aeróbico de longa duração melhora o aproveitamento das proteínas, direcionando-as para o crescimento e não para o catabolismo. Wood (2001) afirma que em peixes exercitados a velocidades moderadas, a contribuição da oxidação proteica permanece a mesma, ou em alguns casos pode até diminuir, já que não seria lógico utilizar a própria maquinaria metabólica para suprir a demanda energética. Durante o exercício de longa duração a contribuição dos lipídios e dos carboidratos torna-se maior, permitindo maior síntese proteica ao invés de degradação, o que favorece o crescimento dos peixes (DAVISON, 1997; WOOD, 2001). Tais resultados podem ser vistos em trabalhos realizados com trutas arco-íris e matrinxãs (RICHARDS et al., 2002; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007), onde as proteínas

exibem papel menor como substrato energético.

Como a comercialização de pescado vem se tornando um mercado muito promissor, apresentando uma produção mundial superior a 128 milhões de toneladas em 2001 (FAO, 2002), é importante que sejam desenvolvidas técnicas e que se aprimorem aquelas que já estão em vigor para que o Brasil se torne proeminente na produção de pescado, visto seu potencial aquícola. O Brasil contribui com menos de 0,5% da produção mundial (FAO, 1999), o que o coloca como 24.º produtor mundial de pescado (INSTITUTO DE PESCA, 2003). Por isso é fundamental que se estabeleçam as bases fisiológicas e bioquímicas do exercício, bem como as respostas de crescimento e de comportamento frente a diferentes regimes alimentares, em espécies promissoras como o pacu, permitindo assim uma visão mais completa das suas necessidades orgânicas, favorecendo suas condições de cultivo e ampliando as margens de rendimento.

A sustentabilidade tem se tornado cada vez mais discutida dentro da aquicultura. Devido a demanda na produção de peixes há um grande interesse em otimizar as condições de cultivo sem prejudicar o bem-estar e saúde desses animais (PALSTRA, 2014). Os peixes criados em altas densidades ou em baixo fluxo de água não exibem completamente o seu potencial em natação, prejudicando o seu comportamento natural. Sendo assim, estão sendo aplicados exercícios de natação em velocidade de forma não invasiva e econômica que podem resultar no aumento do crescimento desses espécimes criados nessas condições (PALSTRA & PLANAS, 2011).

EXERCÍCIO DE NATAÇÃO EM PEIXES

O exercício de natação em peixes pode ser baseado em dois métodos principais: resistência, onde é medido o tempo em que o peixe pode nadar continuamente contra uma velocidade de água constante. E mais recentemente o exercício por meio da velocidade de transição (DRUCKER, 1996), colocando-se o peixe em um túnel de água e nada contra uma velocidade aumentada. Essas técnicas têm-se mostrado um forte coadjuvante no crescimento dos peixes. Já que o exercício de longa

duração favorece o crescimento ao permitir que o peixe metabolize melhor o alimento ofertado, sua execução poderia contribuir para diminuir um problema enfrentado no cultivo de peixes, o qual está relacionado aos gastos com alimentos. Estes representam de 50 a 70% dos custos de produção, e uma significativa redução nesta porcentagem pode ser alcançada através da utilização de ingredientes de alta qualidade, do uso de técnicas eficazes de processamento das rações e da aplicação de estratégias na alimentação e na criação (KUBITZA, 1998). O exercício aeróbico poderia, desta forma, auxiliar no aproveitamento da dieta proporcionando maior crescimento em menor tempo, já que com sua realização os peixes aumentam o consumo de fontes não-proteicas.

Quando os peixes são exercitados a velocidades ótimas (30-60% da velocidade máxima que eles podem atingir) geralmente apresentam boas taxas de conversão alimentar, bem como peso e comprimento maiores do que aqueles peixes mantidos em ambientes de águas estacionárias (JOBILING, 1993; YOUNG & CECH JR., 1994; JOBILING, 1994; DAVISON, 1997; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000; AZUMA et al., 2002; BUGEON et al., 2003; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Existem algumas espécies que também respondem positivamente quando o exercício é interrompido, obtendo-se ganho de peso mesmo no período em que não se exercitam (DAVISON, 1997; BUGEON et al., 2003).

Quando um peixe é exercitado a velocidades moderadas, o maior crescimento não se deve a um maior consumo de alimento, mas sim, à sua capacidade de converter melhor o alimento ingerido, utilizando-o para crescer e não para manter sua dominância sobre outros peixes. Com o exercício, a ração também é melhor distribuída e os peixes crescem mais uniformemente (JOBILING, 1994; WOOD, 2001; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Quando realizada sem interrupções, esta atividade reorganiza o metabolismo poupando gastos extras provenientes do exercício, permitindo maior síntese proteica e aumentando o catabolismo lipídico e glicídico, o que favorece o

crescimento (DAVISON, 1997; MOYES & WEST, 1995; WOOD, 2001; RICHARDS et al., 2002; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007).

Infelizmente, os protocolos de exercício aeróbico de longa duração não estão disponíveis para peixes neotropicais, salvo pelos poucos trabalhos já existentes com matrinxã (HACKBARTH & MORAES, 2006). Pôde-se observar que os matrinxãs exercitados a 1 cc/seg por 72 dias (HACKBARTH & MORAES, 2006) apresentaram maior capacidade em oxidar lipídios e carboidratos, com catabolismo superior a 40% e 15% respectivamente, ao mesmo tempo em que aumentaram o conteúdo de proteínas e de aminoácidos muscular em 30% e 16%, respectivamente. Em outro estudo realizado com a mesma espécie exercitados a 1cc/seg, observou-se melhores taxas de crescimento e de conversão alimentar, maior oxidação de lipídios e carboidratos (40% e 15%) e maior síntese de proteína muscular (30%) (ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Ainda neste estudo, o autor deixa claro que boas taxas de crescimento dependem da velocidade em que os peixes se exercitam, pois ao se exercitarem a 1,0 e 1,5 cc/seg, apresentaram melhores taxa de crescimento e, quando nadaram a 2,0 cc/seg apresentaram respostas de crescimento similares ao grupo sem exercício. Isto mostra a importância em se determinar a velocidade correta para a execução da atividade de longa duração para cada espécie.

Já que o exercício de longa duração favorece o crescimento ao permitir que o peixe metabolize melhor o alimento ofertado, sua execução poderia contribuir para diminuir um problema enfrentado no cultivo de peixes, o qual está relacionado aos gastos com alimentos. Estes representam de 50 a 70% dos custos de produção, e uma significativa redução nesta porcentagem pode ser alcançada através da utilização de ingredientes de alta qualidade, do uso de técnicas eficazes de processamento das rações e da aplicação de estratégias na alimentação e na criação (KUBITZA, 1998).

A INFLUÊNCIA DO EXERCÍCIO NA ALIMENTAÇÃO DOS PEIXES

O exercício aeróbico poderia auxiliar no aproveitamento da dieta proporcionando maior

crescimento em menor tempo, já que com sua realização os peixes aumentam o consumo de fontes não-proteicas..

Sabe-se que os peixes obtêm energia através do metabolismo de carboidratos, lipídios e proteínas, sendo os açúcares a fonte mais econômica das três. Entretanto, algumas espécies têm mais habilidade em digeri-los do que outras (KUBITZA, 1998; MOON & FOSTER, 1995; LEE et al., 2003). Por isso é de suma importância determinar quais os níveis de exigência de carboidratos para cada espécie, pois tanto altas como baixas concentrações na dieta inibem a ingestão de alimentos, acarretam a deposição de gordura corporal e favorecem o catabolismo proteico (LEE et al., 2003), prejudicando o crescimento e encarecendo o cultivo. Outro ponto importante é que os carboidratos também proporcionam uma ação poupadora da proteína, podendo esta ser direcionada ao crescimento e não à manutenção energética (TACON, 1989; LUNDSTEDT, 2003).

Os lipídios são considerados a principal fonte de energia não proteica para os peixes, particularmente os ácidos graxos livres derivados de gorduras e óleos (TACON, 1989; VAN DEN THILLART & VAN RAAJI, 1995; WEBER & HAMAN, 1996), contribuindo para o metabolismo energético de muitos tecidos. Kim & Lee (2005) acreditam que os lipídios são boas fontes de energia não-proteica quando comparadas aos carboidratos por serem nutrientes de energia densa, mais facilmente metabolizada pelos peixes.

No exercício de longa duração em peixes a contribuição dos lipídeos e dos carboidratos torna-se maior, resultando em maior crescimento e favorecendo o efeito poupador de proteína (MOYES & WEST, 1995; FORSTER & OGATA, 1996; WEBER & HAMAN, 1996; DAVISON, 1997; OGATA & OKU, 2000; RICHARDS et al., 2002; WOOD, 2001). Os carboidratos são essenciais para o metabolismo de todos os vertebrados, entretanto, a intensidade do exercício e a disponibilidade de oxigênio determinam a preferência metabólica (VAN DEN THILLART & VAN RAAJI, 1995). A eventual dificuldade dos peixes em utilizar os açúcares como fonte energética é suprida pela sua capacidade em utilizar outros precursores para manter a glicemia, como lactato,

aminoácidos, glicerol e frutose (MOON & FOSTER, 1995), porém, o papel dos carboidratos é muito menor quando comparado ao dos lipídios e das proteínas (MOYES & WEST, 1995).

A oxidação dos lipídeos contribui para o metabolismo energético de muitos tecidos, inclusive dos músculos (VAN DEN THILLART & VAN RAAJ, 1995; WEBER & HAMAN, 1996). De acordo com Weber & Haman (1996), provavelmente o exercício aeróbico permite tanto um aumento da mobilização de TGL e AGL através do plasma para os tecidos requisitados, como da sua oxidação nas mitocôndrias das células musculares. Entretanto, algumas espécies podem mobilizar lipídios mais que outras (WEBER & HAMAN, 1996; FORSTER & OGATA, 1996; BERNARD et al., 1999; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000).

Com relação às proteínas, pode-se afirmar que o organismo dos peixes apresenta uma preferência marcante por essas biomoléculas, e a quantidade de aminoácidos requerida está relacionada diretamente ao seu estado nutricional variando de acordo com a espécie (MOYES & WEST, 1995). Entretanto, o ajuste dos níveis de proteína da dieta aos mínimos exigidos reflete-se em redução na emissão de compostos nitrogenados para o ambiente e na economia dos recursos disponíveis, pois a substituição da energia proteica da dieta pela energia dos lipídeos e/ou carboidratos pode resultar em maior produção por unidade consumida de fontes proteicas de alto custo (HILLESTAD et al., 2001). É por isso que a fração proteica da dieta não é apenas um componente decisivo para a sua qualidade, mas também determina os custos de elaboração da ração (KUBITZA et al., 1998; KIM & LEE, 2005).

O exercício aeróbico de longa duração melhora o aproveitamento das proteínas, direcionando-as para o crescimento e não para o catabolismo. Wood (2001) afirma que em peixes exercitados a velocidades moderadas, a contribuição da oxidação proteica permanece a mesma, ou em alguns casos pode até diminuir, já que não seria lógico utilizar a própria maquinaria metabólica para suprir a demanda energética. Durante o exercício de longa duração a contribuição dos lipídios e dos carboidra-

tos torna-se maior, permitindo maior síntese proteica ao invés de degradação, o que favorece o crescimento dos peixes (DAVISON, 1997; WOOD, 2001). Tais resultados podem ser vistos em trabalhos realizados com trutas arco-íris e matrinxãs (RICHARDS et al., 2002; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007), onde as proteínas exibem papel menor como substrato energético.

Como a comercialização de pescado vem se tornando um mercado muito promissor, apresentando uma produção global aquícola (incluindo plantas aquáticas) foi de 110,2 milhões de toneladas em 2018 (SOPIA, 2018), é importante que sejam desenvolvidas técnicas e que se aprimorem aquelas que já estão em vigor para que o Brasil se torne proeminente na produção de pescado, visto seu potencial aquícola. O crescimento anual da produção aquícola já não registra taxas tão altas quanto na década de 80 e 90. O índice caiu para 5,8% durante o período de 2001-2016, contudo, ainda é o setor que mais cresce (FAO, 2018), o que o coloca como 16º lugar, respondendo por 0,55% do total mundial. produtor mundial de pescado (PLANO MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO DA PISCICULTURA 2018 - 2020). Por isso é fundamental que se estabeleçam as bases fisiológicas e bioquímicas do exercício, bem como as respostas de crescimento e de comportamento frente a diferentes regimes alimentares, em espécies promissoras como o pacu, permitindo assim uma visão mais completa das suas necessidades orgânicas, favorecendo suas condições de cultivo e ampliando as margens de rendimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desempenho dos peixes sob exercício aeróbico de longa duração é eficiente e contribui de maneira significativa para criação, o exercício aeróbico melhora o aproveitamento de proteínas, contribuindo para oxidação proteica, lipídeos e carboidratos, o que permite uma maior síntese proteica o que favorece para o crescimento dos peixes, melhorando seu crescimento, taxas de conversão alimentar, sobrevivência e reduzindo o seu comportamento agressivo.

seu crescimento, taxas de conversão alimentar, sobrevivência e reduzindo o seu comportamento agressivo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A.O.A.C.). Official Methods of Analysis, 17th edn. AOAC. Gaithersburg, MD, USA, 2000.
- ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J.; URBINATI, E. C. Growth and metabolism Of pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg 1887) juveniles fed diets containing Different protein, lipid and carbohydrate levels. **Aquaculture Research**, vol. 38, p.36-44, 2007.
- APHA. Standard methods for determinations of water and wastes. Washington: **Join editorial board**, DC, 12th ed, 1980.
- ARBELAEZ-ROJAS, G. **Efeitos da natação sustentada no crescimento, na densidade de estocagem e na composição corporal em juvenis de matrinxã *Brycon amazonicus*: Aspectos adaptativos e respostas metabólicas.** 149 f. (Tese de doutorado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.
- AZUMA, T., NODA, S., YADA, T., OTOTAKE, M., NAGOYA, H., MORIYAMA, S., YAMADA, H., NAKANISHI, T.; IWATA, M. Profiles in growth, smoltification, Immune function and swimming performance of 1-year-old masu salmon *Onchorhynchus masou masou* reared in water flow. **Fisheries science**, vol. 68, n.6, p. 1282-1294, 2002.
- BERNARD, S.F., REIDY, S.P., ZWINGELSTEIN, G. & WEBER, J-M. **Glycerol and fatty acid kinetics in rainbow trout: effects of endurance swimming.** J. Exp. Biol., vol. 202C, p. 279-288, 1999.
- BERNFELD, P. Amylase α and β In: COLOWICK, S. P., KAPLAN, N. (Eds). Methods In Enzymology. New York: **Academic Press**. v. 1, p. 149-158, 1955.
- BIDINOTTO, P.M., SOUZA, R.H.S.; MORAES, G. (1997). Hepatic glycogen in eight Tropical freshwater teleost fish: **A procedure for field determinants of microsamples.** Bol.Tec. CEPT – Pirassununga, 10: 53-60.
- BRADFORD, M. **A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities Of protein utilizing the principle of protein-dye-binding.** M. Anal. Biochem., vol.72, p 248–254, 1976.
- BUGEON, J.; LEFEVRE, F.; PAUCONNEAU, B. Fillet texture and muscle structure in Brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise. **Aquaculture Research**, vol.34, p. 1287 1295, 2003.
- CHERNECKY, C.C., KRECH, R.L.; BERGER, B.J. **Laboratory tests and diagnostic procedures.** pp. 932-933, 1993.
- COPLEY, N.G. **Alloxan and ninhydrin test.** Analyst., vol. 66, p. 492-493, 1941.
- DAVISON, W. The effects of exercise training on Teleost Fish, a review of recent literature. Comp. **Biochemistry Physiology**, vol. 117, p. 67-75, 1997.
- DRABKIN, D. The standardization of hemoglobin measurement. **Am. J. Med. Sci.**, vol. 215C, p. 110-111, 1948.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **El estado de la pesca y de la acuicultura.** Rome. 112p. 1999.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **El estado de la pesca y de la acuicultura.** Rome. 150p. 2002.
- FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N.K. Fontes e níveis de Proteína bruta em dietas para alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 646-653, 2000.
- FERNANDES, F.; MIGUEL, A. G.; CÓRDOBA, M.; VARAS, M.; MÉTON, I.; CASERAS, A.; BANANTE, I.V. Effects of diets with distinct protein-to-carbohydrateratios on nutrient digestibility, growth, body composition and liver intermediary enzymes activities in gilthead seabrea (*Spaurus aurata L.*) fingerlings. J. Exp. Mar. **Biol. Ecol.**, vol. 343, p. 1-10, 2007.
- FORSTER, I. P.; OGATA, H. (1996). Growth and whole-body lipid content of juvenile red sea bream reared under different conditions of exercise training and dietary lipid. **Fisheries Science**, vol. 62, p. 404-409, 1996.
- GAWLIKCA, A.; PARENT, B.; HORN, H.M.; ROSS, N.; OPSTAD, I.; TORRISEN, J. Activity of digestive enzymes in yolk-sac larvae of Atlantic halibut (*Hippoglossu hippoglossus*): indication of

- readiness for first feeding. **Aquaculture**, v.184,p. 303-314, 2000.
- GENTZKOW, C.J. & MASEN, J.M. An accurate method for the determination of blood Urea nitrogen by direct nesslerization. **J. Biol. Chem.**, vol. 143, p. 531-544, 1942.
- HACKBARTH, A.; MORAES, G. Biochemical responses of matrinxãs *Brycon cephalus*(Günther, 1869) after sustained swimming. **Aquaculture Research**, vol. 37, p. 1070-1078, 2006.
- HARROWER, J.R. & BROWN, C.H. Blood lactic acid. A micromethod adapted to field collection of microliter samples. **J. Appl. Physiol.**, vol. 32C, p. 224-228, 1972.
- HILLESTAD, M.; JOHNSEN, F.; ASGARD, T. Protein to carbohydrate ratio in high Energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture Research**, vol. 32, p. 517- 529, 2001.
- HOCHACHKA, P.W., GUPPY, H.E., GUDERLEY, STOREY K.B.; HULBERT, W.C. Metabolic biochemistry of water vs air-breathing fishes: muscle enzymes and ultrastructures. **Can. J. Zool.**, vol. 56, p.736-750, 1978.
- HOLK, K. & LYKKEBOE, G. The impact of endurance training on arterial plasma K⁺ Levels and swimming performance of rainbow trout. **J. Exp. Biol.**, vol. 201C, p. 1373 -1380, 1998.
- INOUE, L. A. K. A. I.; SANTOS-NETO, C.; MORAES, G. Clove oil as anaesthetic for Juvenils of matrinxã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869). **Ciência Rural**, vol. 33, n. 5, p. 943-947,2003.
- INSTITUTO DE PESCA. **3.º Encontro Regional de Piscicultores de Mococa**. Mococa, SP, 06/nov, 2003.
- JOBLING, M. **Bioenergetics: feed intake and energy partitioning**. In: RANKIN, J. F.; JENSEN, F. B. Fish ecophysiology. Chapman & Hall: London, pp. 1-44, 1993.
- JOBLING, M. **Fish Bioenergetics**. Chapman & Hall: London, 309 p. 1994.
- KIM, L.O.; LEE, S-M. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. **Aquaculture**, vol. 243, p. 323 329,2005.
- KUBITZA, F. **Nutrição e alimentação de peixes cultivados**. 108 p. 1998.
- LEE, S-M.; KIM, K-D.; LALL, S.P. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose By juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). **Aquaculture**. vol. 221, p. 427-438, 2003.
- LIMA, A.O; SOARES, J.B.; GRECO, J.B.; GALIZZI, J. & CANÇADO. J.R. **Métodos De laboratórios aplicados à clínica**. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 653 p. 1969.
- LU, G.D. The metabolism of pyruvic acid in normal and vitamin B-deficient state. I. A Rapid specific and sensitive method for the estimation of blood piruvate. **Biochem. J**. vol. 33, p. 249 254. 1939.
- LUNDSTEDT, L.M. **Aspectos adaptativos dos processos digestivo e metabólico de Juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) arraçoados com diferentes níveis de proteína e energia**. 139f. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de São Carlos, 2003.
- MOON, T.W. & FOSTER, G.D. Tissue carbohydrate metabolism, gluconeogenesis and hormonal and environmental influences. In: HOCHACHKA, P.W. & MOMMSEN, T.P. (eds.). **Metabolic Biochemistry. Biochemistry and molecular biology of fishes**. Vol. 4. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 65-100, 1995.
- MOYES C.D. & WEST, T.G. Exercise metabolism of fish. In: HOCHACHKA, P.W. & MOMMSEN, T.P. (eds.). **Metabolic Biochemistry. Biochemistry and molecular biology Of fishes**. Vol. 4. **Elsevier Science, Amsterdam**, pp. 367-392, 1995.
- NORVÁK, M. Colorimetric ultramicro method for the determination of free fatty acids. **Journal of lipid research**, vol. 6, p. 431-433, 1965.
- OGATA, H.Y. & OKU, H. Effects of water velocity on growth performance of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. **J. World Aqua. Soc.**, vol. 31, p. 225-231, 2000.
- PARK, J. T. JOHNSON, M. J. Submicro determination of glucose. **J. Biol. Chem.**, vol. 249, p. 149-151, 1949.
- RICHARDS, J. G.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; WOOD, C. Lipid oxidation fuels Recovery from exhaustive exercise in white muscle of rainbow trout. **Am. J. Physiol. Regulatory: Integrative Comp. Physiol.**, vol. 282, p. 89-99, 2002.
- SHANGAVI, D.S. & WEBER, J.M. Effects of sustained swimming on hepatic glucose production of rainbow trout. **J. Exp. Biol.**, vol. 202, p. 2161-2166, 1999.

TACON, A. G. J. **Nutrición y Alimentación de Peces y Camarones Cultivados. Manual de capacitación.** Brasilia: FAO, 572 p. 1989.

TRINDER, P. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an Alternative oxygen acceptor. **Annal. Clin. Biochem.**, vol. 6, p.24-27, 1969.

VAN DEN THILLART, G. & van RAAIJ, M. Endogenous fuels; non invasive versus invasive approaches. In: HOCHACHKA, P.W. & MOMMSEN, P. (eds). **Biochemistry and Molecular Biology of Fishes, Vol. 4, Metabolic Biochemistry. Elsevier Science, Amsterdam**, pp. 33-63,1995.

WALTER, H. E. Proteinases: methods with hemoglobin, casein and azocoll as substrates. In: Bergmeyer, H.U. (Ed). **Methods of enzymatic analysis. Verlag Chemie, Weinheim**, vol. 5, p.270-277, 1984.

WEBER, J.M. & HAMAN, F. Pathways for metabolic fuels and oxygen in high Performance fish. **Comp. Biochemistry and Physiology.**, vol. 113, p. 33-38, 1996.

WOOD, C. M. Influence of feeding, exercise and temperature on nitrogen metabolism And excretion. In: WRIGHT, P.; ANDERSON, P. Nitrogen excretion. **Academic Press, California**, p. 201-238. 2001.

YOGATA. H. & OKU, H. The effects of swimming exercise on growth and whole-body protein and fat contents of fed and unfed fingerling yellowtail. **Fisheries science.**, vol. 66, p. 1100-1105, 2000.

YOUNG, P.S. & Cech Jr, J.J. Effects of different exercise conditioning velocities on the Energy reserves and swimming stress responses in young-of-the-year striped bass (*Morone saxatilis*). **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, vol. 51, p. 1528-1534, 1994.