

Levantamento da Velocidade Prolongada de Peixes – Um Estudo de Caso com o Mandi (*Pimelodus maculatus*)

Giuseppe Campos Vicentini, Carlos Barreira Martinez

Belo Horizonte, MG, Brasil. – UFMG

gcvicentini@yahoo.com.br, martinez@cce.ufmg.br

Recebido: 26/04/07 – revisado: 17/10/08 – aceito: 29/06/09

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho o levantamento de capacidade natatória do mandi (*Pimelodus maculatus*, Lacepède, 1803). Para isso foram levantadas as velocidades prolongadas (velocidade fixa) e prolongadas crítica (velocidade variável, Brett 1964). No desenvolvimento desse trabalho utilizou-se um aparato experimental constituído por um túnel hidrodinâmico horizontal, operado pela ação de bombas centrífugas. Os indivíduos testados foram introduzidos e confinados numa seção de teste feita em acrílico. Finalmente confrontou-se os resultados obtidos com os encontrados na bibliografia objetivando a comparação das curvas do mandi amarelo com a truta arco-íris e o salmão Sockeye

Palavras-chave: capacidade natatória, mecanismos de transposição.

INTRODUÇÃO

A construção de barramentos tem causado, entre outros problemas, a interrupção do deslocamento das espécies migradoras de peixes. Vários estudos científicamente estruturados vêm se desenvolvendo desde o início do século XX (Clay, 1995), visando prover soluções efetivas, baseadas no conhecimento das variáveis biológicas e hidráulicas envolvidas no problema (fatores bióticos e abióticos). Como fruto das pesquisas desenvolvidas em países do hemisfério norte surgiram projetos, modelos e protótipos adequados às características da ictiofauna dessas regiões. Conhecidos como, mecanismos de transposição de peixes (MTP), tais estruturas passaram a ter implantação exigida nos principais barramentos em rios de diversos países. Suas variantes principais são as escadas, os elevadores e as eclusas para peixes.

Na prática os projetos implantados no Brasil basearam-se em dados construtivos de países de clima temperado como Canadá e Estados Unidos. Dentre esses aspectos encontra-se um importante parâmetro para dimensionamento: a velocidade da água no mecanismo. Tal parâmetro está diretamente relacionado com as velocidades desenvolvidas pelos peixes migradores no local de estudo. No entanto, em virtude da grande diversidade de espécies migradoras, que apresentam características natatórias diversas, é possível que a eficiência das estrutu-

ras aqui implantadas tenha ficado bastante comprometida. Devido a esse fato considera-se importante e necessário o desenvolvimento de pesquisas sobre as capacidades natatórias de nossa ictiofauna. Essas pesquisas irão fornecer dados para que os projetos de MTP sejam adaptados à realidade brasileira, podendo resultar em uma maior eficiência com economia em gastos de construção.

Optou-se por iniciar os trabalhos pelo mandi amarelo (*Pimelodus maculatus*) que é uma espécie representativa, tanto do ponto de vista de biomassa, quanto do ponto de vista da abrangência geográfica e da importância econômica. Mesmo que essa espécie não represente a maior quota de biomassa nos rios brasileiros, ocupa importante nicho tanto na biota constituinte dos ecossistemas fluviais quanto na chamada “ecologia humana” das comunidades ribeirinhas.

Outro fator determinante na escolha foi a facilidade de manejo do mandi, desde que tomados os devidos cuidados em relação aos ferrões localizados nas nadadeiras peitorais e na dorsal. Além disso, por se tratar de um peixe de couro, que geralmente prefere as regiões próximas ao leito dos rios, acredita-se que desenvolva velocidades menores que aquelas enfrentadas por espécies encontradas no meio da coluna líquida dos rios. Essas espécies, peixes de escama em sua maioria, por enfrentarem velocidades maiores de fluxo e estando adaptadas a condições mais severas de transposição de obstáculos, teriam maior facilidade para ultrapassar um MTP com

maior velocidade de escoamento. Assim é razoável empreender pesquisas mais detalhadas acerca das capacidades natatórias das espécies cujo estilo de vida é compatível com menores velocidades de corrente, tornando-os então balizadores dos parâmetros de projeto em MTP.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os testes realizados com os indivíduos capturados se prolongaram de outubro de 2004 a junho de 2005. Os indivíduos utilizados são oriundos do rio São Francisco, na localidade de Três Marias – Estado de Minas Gerais, a jusante da barragem de mesmo nome, próximo à ponte da rodovia BR-040, distante aproximadamente 240 km do laboratório. Foram testados 85 indivíduos (total de testes de velocidade prolongada e prolongada crítica) e coletados dados de variáveis intervenientes, tais como: temperatura, pH, oxigênio dissolvido na água, peso e medidas corporais dos indivíduos (largura, altura, comprimento total, padrão e furcal).

Os dados das variáveis relevantes foram coletados no local de teste e posteriormente sistematizados em planilhas eletrônicas.

O aparato

Para a realização dos testes utiliza-se um aparato que consiste basicamente em um túnel hidrodinâmico alimentado por duas bombas centrífugas de baixa altura de recalque, ambas com potência de 7,5 cv. O fluxo contínuo é mantido pelas bombas que recalcam água de uma caixa de 5.000 litros. As saídas de recalque das duas bombas são ligadas a uma conexão do tipo Y responsável pela transição da tubulação flexível (mangote flexível Kanaflex DN 4") para a tubulação rígida (tubos/conexões em PVC e em acrílico). Essa tubulação rígida divide-se em três segmentos. O primeiro, em PVC, possui 150mm (6") de diâmetro interno e 3.500mm de extensão (23 diâmetros a montante da seção de teste). O segundo trecho é constituído pela seção de teste, em acrílico, com diâmetro interno de 144mm, espessura da parede de 4mm e comprimento de 1.120mm. O último segmento, construído em PVC, possui diâmetro interno de 150mm (6"), extensão de 2.300mm (15 diâmetros a jusante da seção de teste).

Os trechos a jusante e a montante da seção de testes operam como redutores de interferência tanto da bomba como do registro de gaveta posicio-

nado na saída do sistema, justificando as distâncias adotadas nas suas extremidades.

Além do tubo de acrílico, a seção de teste também possui, acoplada à tubulação, conexões de PVC do tipo "T" nas duas extremidades, que servem para entrada e retirada dos peixes a serem ensaiados. O trecho em acrílico permite a visualização do animal, que é confinado através de telas colocadas entre as conexões "T" e os tubos de PVC.

A medição da velocidade crítica dos peixes exige a alteração da velocidade no conduto periodicamente. Para isso, cada bomba é ligada a um inverSOR de freqüência que permite a variação da rotação da bomba e consequentemente da vazão recalcada pela mesma.

Variação e medição de vazão

Para a medição instantânea de vazão utiliza-se um medidor eletromagnético. Através destas leituras e conhecendo-se a área transversal da seção de testes, calculam-se as velocidades de escoamento na seção de teste. O aparato experimental é mostrado na Figura 1 a seguir



Figura 1 - Visão panorâmica do aparato de testes.
(fonte própria)

Os ensaios de capacidade natatória

A preparação para um conjunto de ensaios se inicia com o aquecimento da água do reservatório do aparato de testes. Uma vez atingido o patamar de temperatura da água de teste – geralmente em torno de 26°C ou 27°C – passa-se ao procedimento de retirada do espécime a ser testado do aquário de manutenção. A escolha deve recair sistematicamente sobre os peixes que apresentem o melhor aspecto fisi-

co, denotado pela uniformidade na coloração, vivacidade na resposta à tentativa de captura, aspecto e integridade dos barbillhões e ausência de ferimentos externamente detectáveis. Na impossibilidade de encontrar indivíduos nas condições ideais deve-se optar pelos que mais se aproximem destes padrões. A escolha se torna mais aleatória quando todo o grupo apresenta condições semelhantes. Isso é conseguido à medida que se aprimoram as técnicas de manejo e manutenção.

O peixe escolhido deve ser separado do grupo e colhido com o auxílio de um “puçá” de náilon (haste de coleta com invólucro na extremidade), sendo depositado em um aquário de transporte cheio com água do seu tanque de sobrevivência. O passo seguinte consiste na homogeneização da água onde o peixe está imerso através da mistura gradual da água do reservatório de testes com a água do aquário de transporte. Progressivamente adiciona-se água do reservatório ao aquário de transporte, de forma lenta, até que o mesmo contenha apenas água do reservatório. Essa prática tem por objetivo evitar choques térmicos, que podem prejudicar tanto a sanidade do indivíduo quanto seu rendimento para o teste.

Após a preparação, coloca-se o peixe na seção de testes por uma escotilha de inserção de peixe. Em seguida fecha-se a escotilha com uma tampa rosqueada e se veda com um anel de borracha e um soquete com uma adaptação ao perfil interno do tubo de testes. Em seguida abre-se o registro de jussante e também o registro de recalque da primeira bomba. Inicia-se o ensaio ao se acionar a bomba até se atingir a primeira velocidade a ser vencida pelo peixe.

Os testes se dividem em dois tipos a partir deste ponto:

- testes com incrementos sucessivos de velocidade (para velocidade prolongada crítica);
- testes a velocidade fixa, após fase de adaptação (para velocidade prolongada).

O primeiro grupo de testes deve ser realizado segundo a metodologia definida por Brett (1964) para peixes de clima temperado e adaptado por Santos (2004) para peixes de clima tropical. Seu objetivo é determinar a velocidade prolongada crítica para uma dada espécie através de testes realizados com incrementos pré-determinados de velocidade de fluxo em intervalos fixos de tempo. Para isso mede-se o tempo resistido pelo peixe no último intervalo, do qual se conhece a velocidade. Com estes dados obtém-se a velocidade crítica através da equação 1:

$$U_{crit} = U_{max} + \frac{t_t}{t_f} \times \Delta U \quad (1)$$

onde U_{crit} é a velocidade crítica em metros por segundo, U_{max} é a velocidade nominal do último intervalo ao qual o peixe resistiu, ΔU é o incremento de velocidade para cada intervalo de tempo t_t . O tempo resistido no último intervalo é designado por t_f .

Para os testes de velocidade crítica, optou-se por incrementos de velocidade de 0,05 m/s em intervalos de tempo de 5 minutos, começando com a velocidade de 0,2 m/s.

O segundo grupo de testes, realizado com velocidade fixa (para determinação de velocidade prolongada) exige uma fase de adaptação do peixe ao fluxo que deve enfrentar. Como primeiro passo dessa adaptação é estabelecido inicialmente um fluxo a baixa velocidade durante 10 minutos. Para o mandi verificou-se experimentalmente, que a velocidade inicial de adaptação deve ser de 0,2 m/s, pois somente a partir dessa velocidade a maioria dos indivíduos testados apresenta movimentos natatórios, ainda que tênues ou intermitentes.

Em seguida efetuam-se aumentos sucessivos da velocidade do fluxo, sempre em intervalos de 2 ou 3 minutos, até ser atingido o valor final escolhido para o teste. Uma vez estabelecida a velocidade pré-determinada para cada teste, esta é mantida fixa até que se verifique a fadiga do peixe ou até que seja atingido o limite de 200 minutos de natação (contados a partir do estabelecimento da velocidade de teste). Registra-se o tempo resistido por cada indivíduo que venceu a etapa de adaptação e não superou o limite de 200 minutos, considerando-se velocidade sustentável para cada indivíduo aquela mantida por tempo superior a este limite.

Os testes a velocidade fixa permitem adquirir dados para determinação da velocidade prolongada da espécie estudada através da adimensionalização dos resultados em função das características físicas de cada indivíduo, representadas pelos fatores de forma. Assim é possível agrupar e avaliar em conjunto as capacidades natatórias de peixes de diferentes dimensões, pesos e idades. Após os testes procede-se às tomadas de peso e medidas dos indivíduos testados. As medidas tomadas são de:

- Comprimento total – da extremidade do focinho à extremidade da nadadeira caudal;
- Comprimento padrão – da extremidade do focinho à raiz da nadadeira caudal;
- Comprimento furcal – da extremidade do focinho à divisão dos lobos da nadadeira caudal;
- Largura – de um lado ao outro do corpo, junto à raiz da nadadeira peitoral;
- Altura – da raiz da nadadeira dorsal à região ventral; (ver Figura 2).

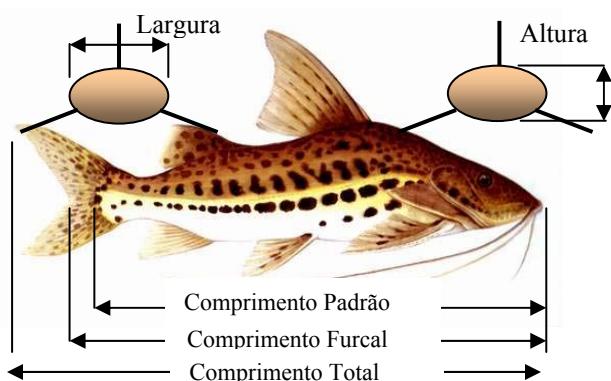


Figura 2 – Diagrama das dimensões corporais relevantes no mandi (fonte própria).

Quando se introduz um objeto em uma corrente confinada de um fluido surge o efeito de impedimento sólido, o qual é traduzido pela aceleração que o fluido realiza quando passa pelo obstáculo imerso na corrente. Assim, a velocidade a que o peixe efetivamente deve resistir é maior que a velocidade medida para a seção livre. A correção é dada pela equação 2.

$$U_c = U_s (1 + \varepsilon_s) \quad (2)$$

onde U_c é a velocidade corrigida do fluxo, U_s é a velocidade do fluxo sem o obstáculo e ε_s é o fator de correção devido à presença do objeto, sendo definido pela equação 3:

$$\varepsilon_s = \tau \lambda \left(\frac{A_0}{A_t} \right)^{3/2} \quad (3)$$

Na equação 3 o fator adimensional τ depende da forma da seção transversal da câmara (0,8 no

caso), λ é o fator de forma para o objeto imerso (peixe) que possui valor em torno de 0,5 enquadrando-se entre os objetos fusiformes ou aerodinâmicos (Bell e Terhune, 1978). A_0 é a área da maior seção transversal do peixe e A_t é a área da seção transversal do duto onde se localiza a câmara de natação (Korsmeyer, Steffensen e Herskin, 2002). Para o cálculo da área da seção transversal do corpo do peixe, é possível uma aproximação por parábola dada pela equação 4:

$$A_0 = \frac{\pi}{0,5a} \times \frac{1}{0,5l} \quad (4)$$

Aqui tem-se em "l" a maior largura do peixe e em "a" sua maior altura (Beamish, 1978). Segundo Webb (1971) o valor de correção a ser realizada na velocidade em virtude do efeito de impedimento sólido gira em torno de 7,5% a 15%.

O outro efeito decorrente da imersão de um corpo sólido no fluxo em um duto pressurizado é o empuxo lateral. Este efeito surge em função do efeito parede, onde a variação de pressão atrás do corpo do peixe tende a aumentar o arrasto. Para corrigir este efeito basta realizar o acréscimo de 1% no valor da velocidade, segundo ensaios de Webb em 1971 (Beamish, 1978).

Qualidade da água

Durante os testes de velocidade prolongada é importante monitorar a qualidade da água do reservatório de forma a se conhecer as condições de desenvolvimento das capacidades natatórias dos indivíduos testados. Para tanto devem ser monitoradas as variáveis temperatura, pH e oxigênio dissolvido (OD) na água disponível para realização dos testes.

O oxigênio dissolvido é particularmente importante para o desenvolvimento das capacidades natatórias dos peixes, uma vez que o oxigênio disponível para as funções metabólicas musculares interfere diretamente na quantidade de energia que o peixe consegue utilizar para as atividades natatórias aeróbias (Jones & Randall, 1978).

Os valores de pH ficaram entre 7,4 e 8,1 a taxa de oxigênio dissolvido na água variou entre 7,8 e 8,2 mg/l e a temperatura variou entre 25,5°C e 27,5°C.

Para controle da qualidade da água deve-se fazer o levantamento da quantidade de oxigênio dissolvido, do pH, da condutividade e da temperatura. Com isso pode-se avaliar se, de um ensaio para

outro, ocorre uma mudança significativa na qualidade da água.

O mesmo acontece com a quantidade de oxigênio dissolvido, que está relacionado com a temperatura e com a pressão atmosférica. Para os ensaios sob temperaturas diferentes (24 e 27°C) a quantidade de oxigênio praticamente não varia, estando mais relacionada à variação de agitação da água.

RESULTADOS

Caracterização da amostra

Do conjunto de 85 peixes coletados, transportados e mantidos vivos com sucesso durante os procedimentos experimentais 48 indivíduos foram submetidos aos testes de velocidade prolongada crítica, com incrementos de velocidade. Desses apenas 25 foram considerados como amostras válidas para a composição das curvas de velocidade.

O critério de validação levou em conta alguns indícios de que o peixe pudesse não estar apto a desenvolver sua capacidade natatória de modo compatível com o que faria na natureza. Uma forma de detectar distúrbios é a observação do comportamento dos peixes durante a atividade de nado. Aqueles que desde as menores velocidades já demonstram apatia ou simplesmente se apóiam na tela protetora localizada à jusante da seção de testes devem ser considerados inaptos e seu respectivo valor como amostras deve ser classificado como baixo.

Outro caso de invalidação de amostras ocorre freqüentemente quando um peixe, mesmo nadando na primeira ou segunda velocidade, cessa logo em seguida sua atividade natatória de modo brusco, dirigindo-se para a tela de jusante e não retornando para a seção de testes.

A distribuição dos peixes em função de seus comprimentos seguiu o padrão apresentado na Figura 3, onde se observa que foram contemplados indivíduos acima do tamanho de primeira maturação definido para o mandi em 18,5cm (Sato, Y.; Cardoso, e. L.; Amorim, J.C.C. 1987). A mediana se localiza em 23,0cm e verifica-se um comportamento uniforme do universo amostral, estando os percentis 25%-75% respectivamente na faixa de 21,0 a 25,0cm. A variabilidade é moderada, estando todo o universo amostral compreendido no intervalo de 19,0 a 26,0cm, sem a presença de outliers.

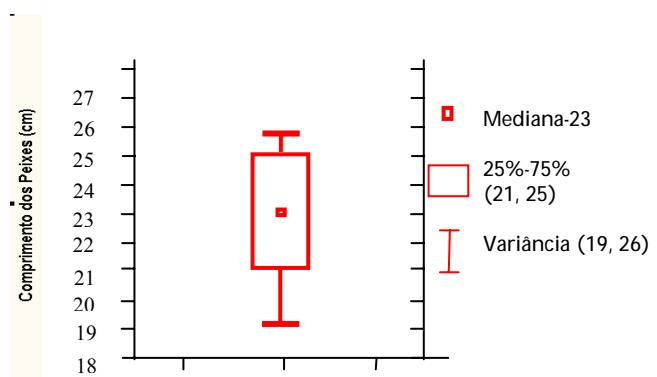


Figura 3 – Gráfico (boxplot) da distribuição dos peixes por comprimento (velocidade Crítica).

Resultados dos testes de velocidade prolongada crítica

As Figuras 4 a 10 apresentam os resultados obtidos nos testes de velocidade prolongada crítica.

Usando a regressão polinomial de primeiro grau encontra-se uma linha de tendência com grande variabilidade das amostras, com R^2 de 0,42. Embora os R^2 não tenham sido altos, ficou bem delineada a relação entre as variáveis comprimento total e velocidade (vide Figura 4), sugerindo que os peixes maiores desenvolvem velocidades também maiores, o que justifica uma posterior análise por adimensionalização. Neste tipo de abordagem a velocidade dos peixes é expressa em "comprimentos do peixe por segundo" (L_{peixes}/s) no lugar de m/s.

A variação do número de Reynolds em função do comprimento total está apresentada na Figura 5 atestando que existe uma correlação muito forte entre a característica tomada pelo escoamento em torno do corpo do peixe e sua dimensão longitudinal máxima.

Neste caso a regressão polinomial de primeiro grau mostrou eficiência na descrição do relacionamento entre as variáveis, mostrando bom coeficiente de correlação.

A forte correlação entre o comprimento total dos indivíduos testados e a respectiva área de seção transversal está expressa na Figura 6, assim como a equação de ajuste e o coeficiente de determinação. Isso atesta que o critério de escolha de animais saudáveis para os testes levou como consequência, à predileção por indivíduos que apresentassem fatores de condição com valores próximos.

A Figura 7 apresenta a variação da velocidade crítica em função do peso, onde se observa uma

variabilidade ainda maior que aquela apresentada para a influência do comprimento total sobre a velocidade crítica. Assim como no caso citado, também para o gráfico que considera o peso temos um ajuste fraco, permitindo inferir que a influência do peso sobre a velocidade crítica existe, mas não é preponderante se considerada isoladamente. Assim, pode-se dizer que outras variáveis influem sobre a capacidade natatória dos peixes.

A Figura 8 apresenta a variação da velocidade crítica em função do fator de condição, onde também podemos observar grande variabilidade. O ajuste obtido também foi fraco, uma vez que a influência do fator de condição sobre a velocidade crítica não apresentou correlação significativa para as amostras obtidas. Tal conclusão pode buscar embasamento no fato de que o fator de condição leva em consideração a massa corporal de cada indivíduo em função de seu comprimento, o que pode acarretar que alguns indivíduos, estando mais debilitados, apresentem menor capacidade de nado para um mesmo comprimento corporal, mesmo sem a ocorrência de perda significativa de peso.

Também se observou um ajuste significativo quando consideradas as variáveis logaritmo natural da velocidade crítica em função do comprimento total, como podemos ver pela Figura 9.

Essa constatação permite inferir que os dois tipos de ajuste são válidos na descrição das correlações existentes entre características físicas do corpo dos peixes e comportamento do escoamento em torno dos mesmos (fator de condição).

Outra observação cabível diz respeito à adimensionalização, termo aplicado ao tratamento dos dados de velocidade natatória dos peixes levando em consideração seus comprimentos corporais, quando comparados os valores de velocidade de nado de vários indivíduos.

A Figura 10 mostra a variação do número de Froude em torno do peixe com o seu comprimento e um outro ajuste possível para a velocidade crítica em função do fator de condição. Como verificado pelo exame dos gráficos o ajuste se mostrou fraco para o conjunto amostral obtido. Com bases de dados cada vez maiores há uma tendência de crescimento na qualidade de ajustes como esse.

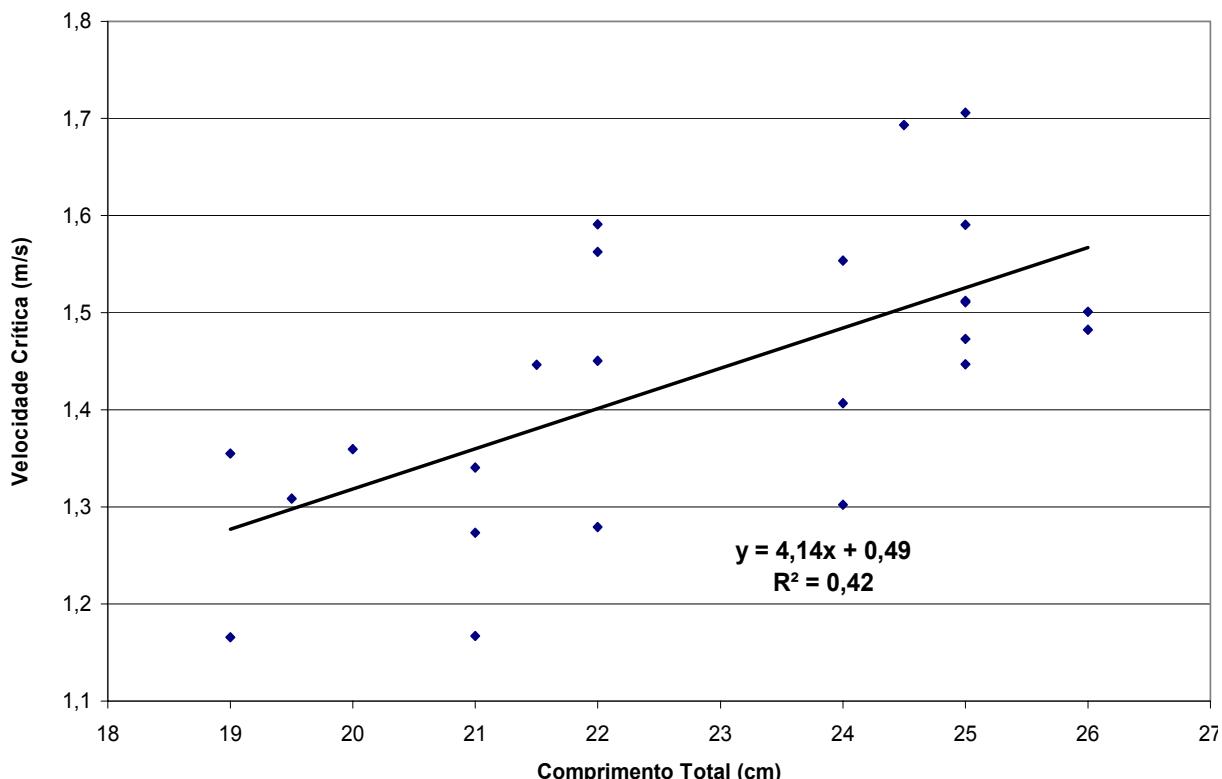


Figura 4– Velocidade crítica em função do comprimento total dos indivíduos

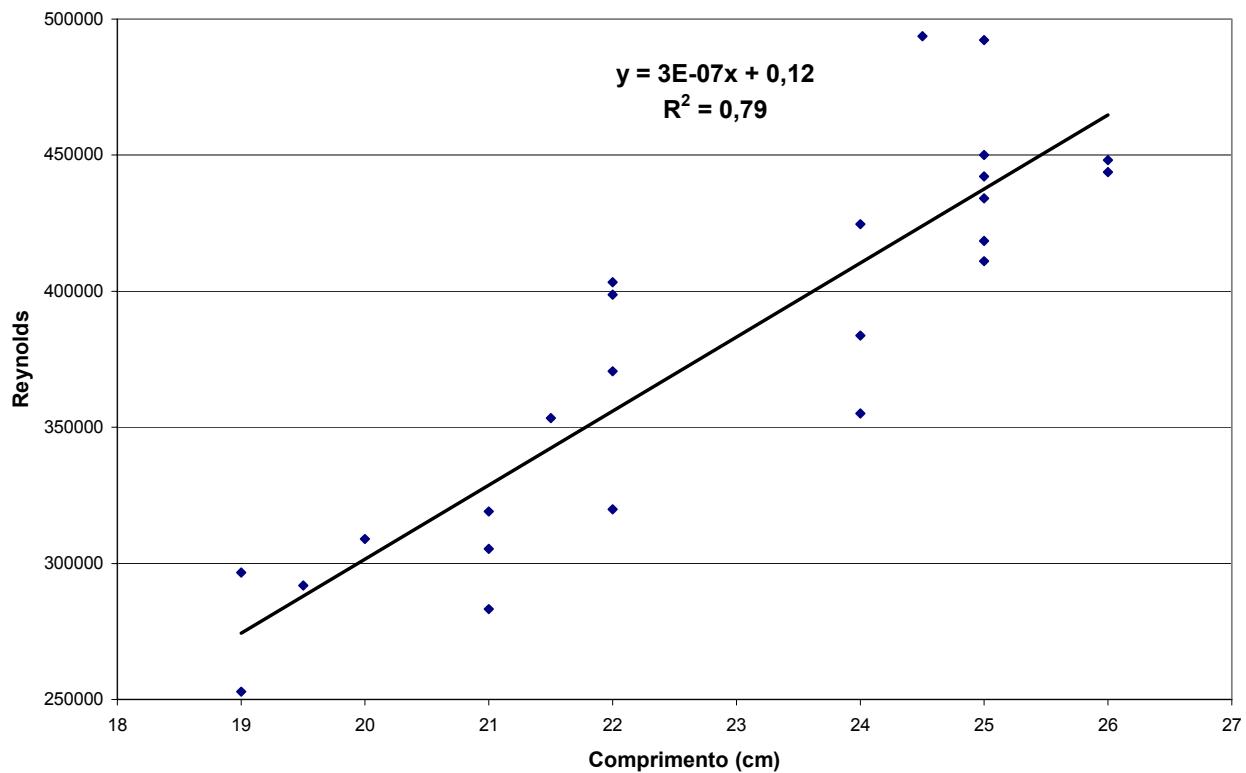


Figura 5 – Número de Reynolds em função do comprimento total dos indivíduos.

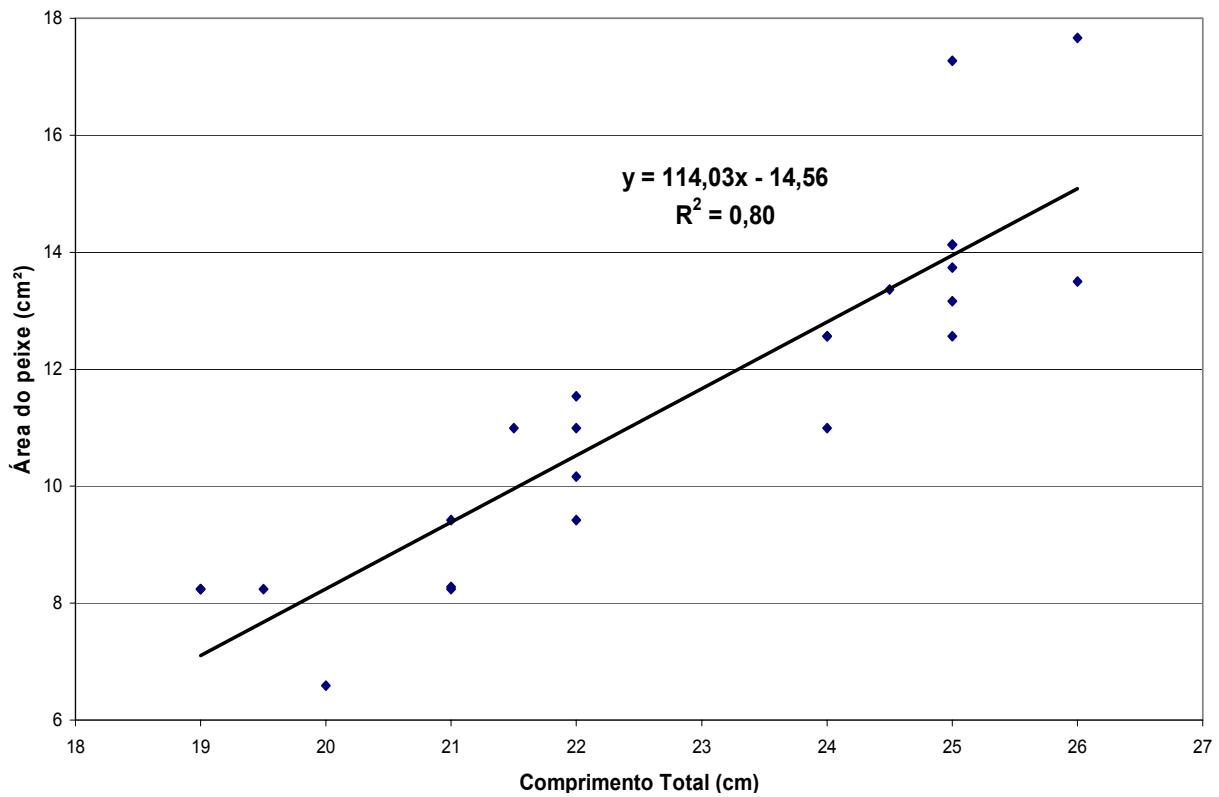


Figura 6 – Área do peixe em função do comprimento total dos indivíduos

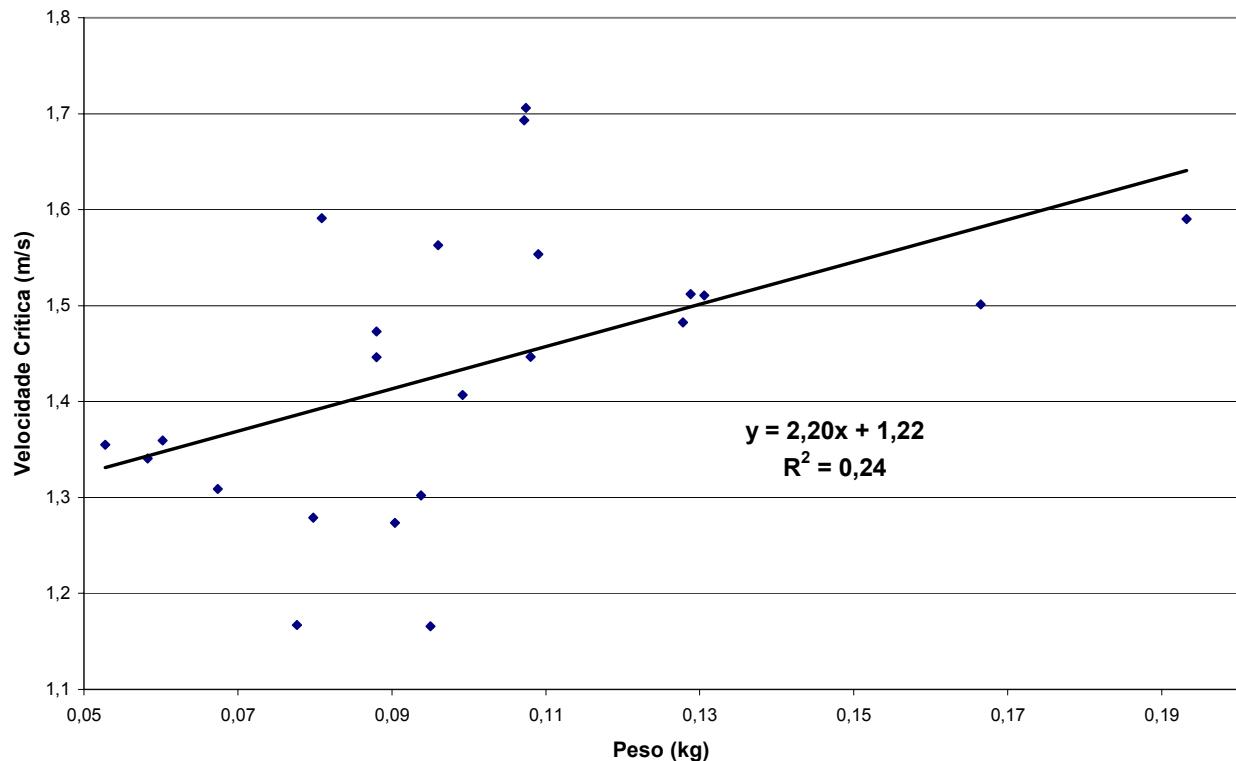


Figura 7 – Velocidade crítica em função do peso dos indivíduos.

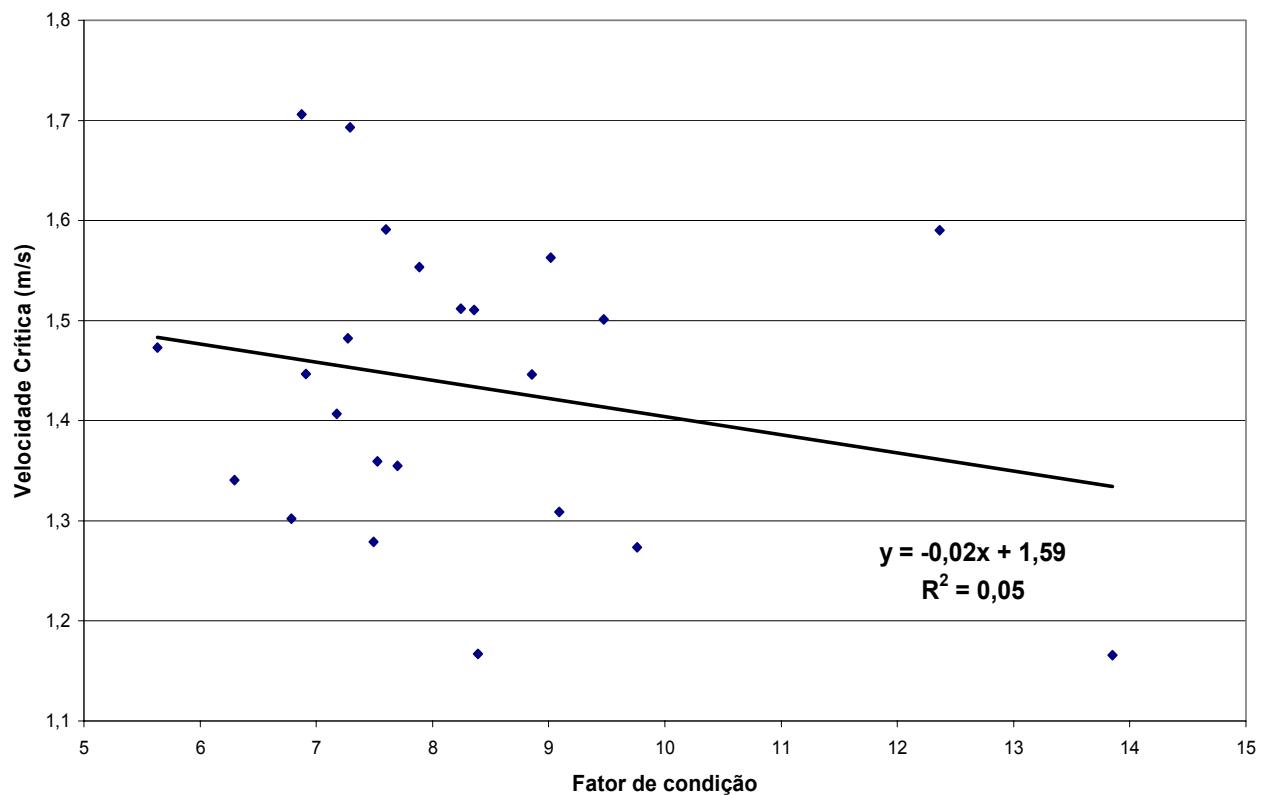


Figura 8 – Velocidade crítica em função do fator de condição dos indivíduos (regressão não significativa).

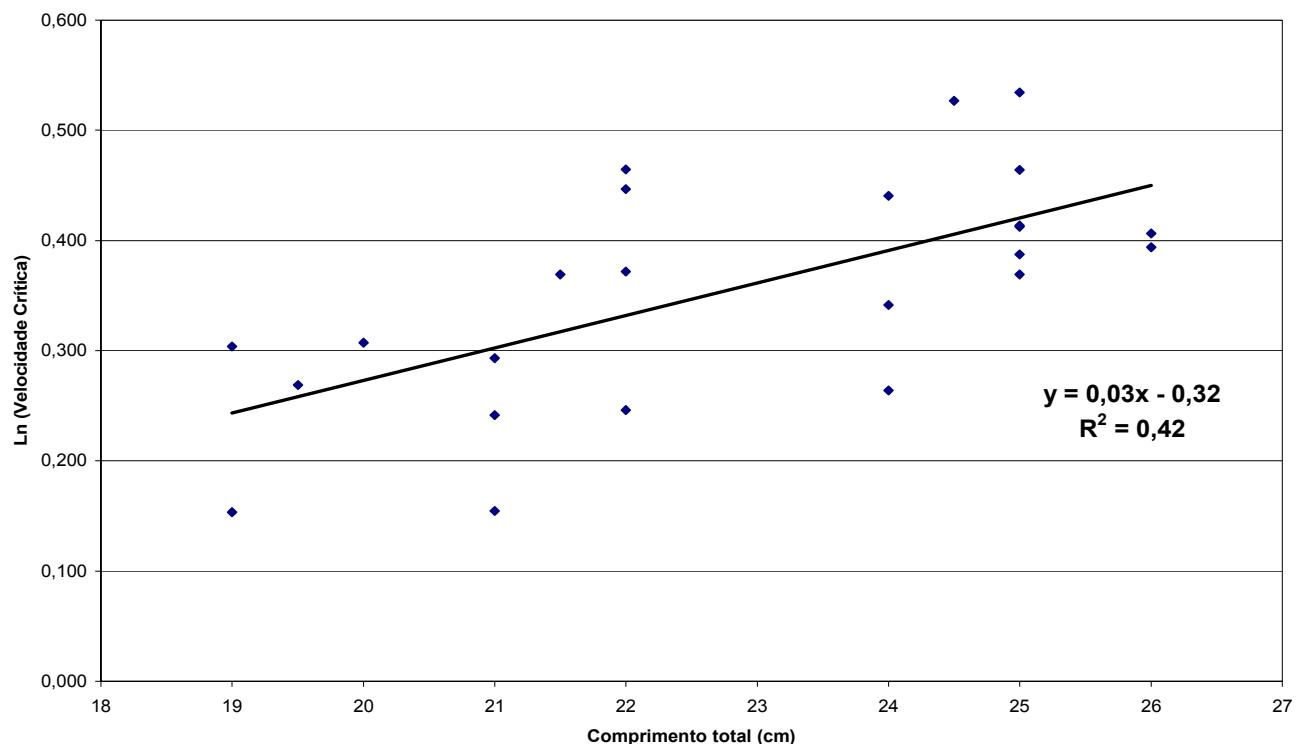


Figura 9 – Logaritmo da velocidade crítica em função do comprimento total dos indivíduos

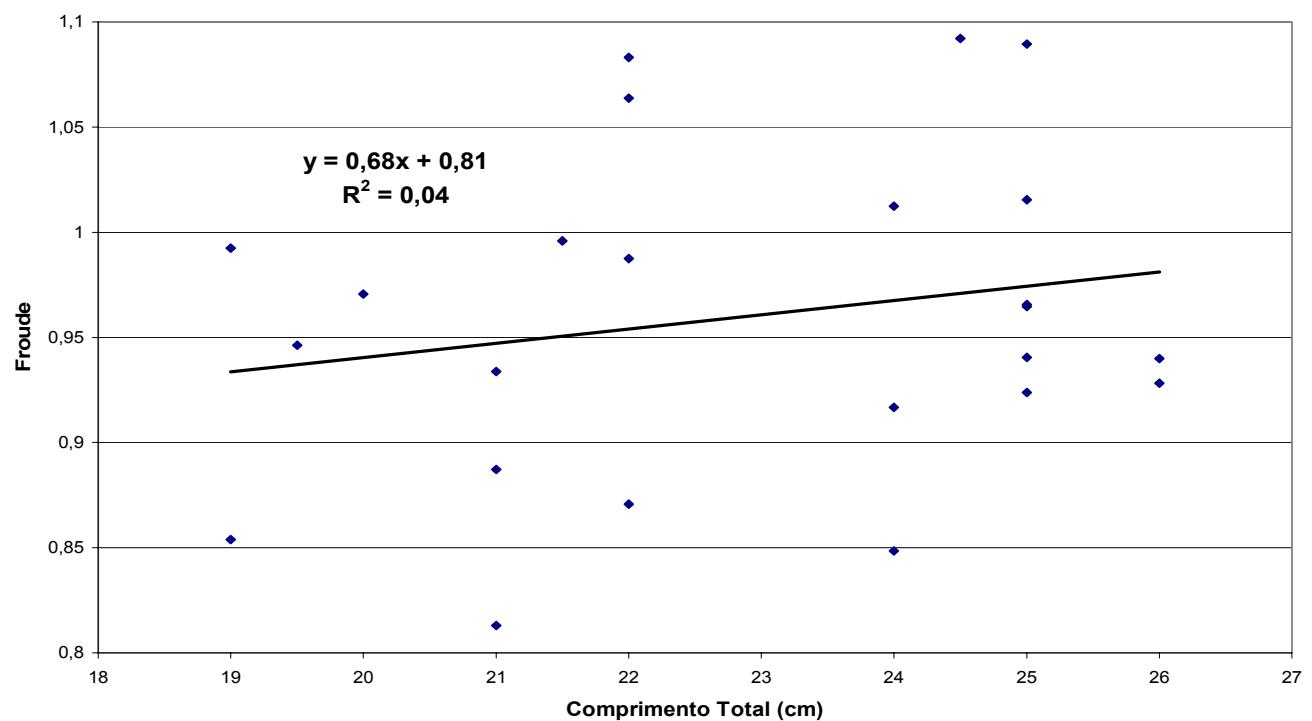


Figura 10 – Número de Froude em função do comprimento total dos indivíduos (regressão não significativa).

Resultados dos testes de velocidade prolongada

Os testes de velocidade prolongada exigem que o peixe seja submetido a uma fase de adaptação à atividade natatória pura, de forma que esteja com seus músculos plenamente aptos ao exercício quando a velocidade de teste é atingida.

Foram realizados 24 testes válidos de velocidade prolongada. É importante lembrar que, diversamente dos testes de velocidade crítica, basta que o peixe atinja e supere a última velocidade do período de adaptação para que seu teste seja considerado válido. Se o peixe não atinge o final da fase de adaptação, o teste é abandonado. Isso ocorreu em 13 dos testes efetuados.

Como nos testes de velocidade crítica obtém-se a distribuição dos peixes por tamanho, (ver Figura 11), onde podemos observar que foram contemplados indivíduos acima do tamanho de primeira maturação para o mandi. (definida como sendo de 18,5cm). A mediana se localiza em 24,0cm e os percentis 25%-75% respectivamente em 23,0 e 24,25cm. Tem-se a presença de dois *outliers*: 28cm e 29cm.

As Figuras 12 e 13 mostram com clareza a melhor correlação obtida entre as variáveis de estudo, considerando-se, no entanto, que na Figura 14 executou-se o descarte de três amostras na região do gráfico, as quais mostravam padrão assimétrico em relação ao corpo principal da regressão.

A observação deste resultado enunciado na Figura 14 permite inferir que a velocidade desenvolvida pelos mandis testados apresenta um máximo de velocidade obtida durante os ensaios na faixa de 6,5 a 8,0 comprimentos do peixe por segundo (L_{peixe}/s).

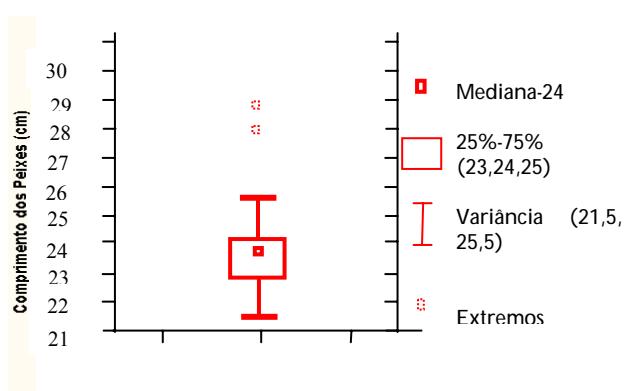


Figura 11 – Boxplot do número de peixes testados por comprimento total (prolongada).

Isso mostra de que a faixa extrema da curva de velocidade prolongada, obtida com os resultados dos testes a velocidade fixa, se funde com a curva de velocidade de explosão, para valores entre 7,5 a 8,0 L_{peixe}/s .

No outro extremo (parte superior do gráfico) a curva se funde com a curva de velocidade sus-tentável, de difícil investigação em laboratório. Nes-sa região foram observados os tempos correspon-dentes à velocidade de 6,0 comprimentos do peixe por segundo.

Tratamento dos dados

Dos 85 testes realizados, a primeira opção de tratamento de dados recaiu sobre a validação das amostras, como descrito anteriormente neste mes-mo trabalho. Esta seleção permitiu a obtenção de 25 testes válidos de velocidade prolongada crítica e 24 testes válidos de velocidade prolongada, totalizando 49 amostras aptas à continuidade do processo de tratamento de dados.

Os testes de velocidade prolongada crítica foram objeto de tabulação eletrônica, através de planilhas (Excel) que permitiam efetuar cálculos essenciais à análise dos dados, como por exemplo, a correção da velocidade do escoamento da água em torno do peixe, calculada na equação 2 mostrada anteriormente.

O fator de condição (K) também foi calcu-lado com base nos dados disponíveis nas planilhas, levando-se em consideração o peso (P) em kg e o comprimento dos peixes (metros) testados, como mostrado na equação 5, que relaciona o peso e o comprimento total (CT) fornecendo como resulta-do o fator de condição em kg/m^3 .

$$K = \frac{P}{CT^3} \quad (5)$$

O trabalho de Santos (2004) apresenta mo-delos com equações de ajuste para velocidade crí-tica, que estão apresentadas nas equações 6 a 7.

$$U_{crit} = 0,894 + 0,045 K \quad (6)$$

$$U_{crit} = 2,527 - 0,062 Temp + 0,056 K \quad (7)$$

Como nos testes efetuados foram mantidos patamares de temperatura da água com pequeno percentual de variação, o ajuste mais aproximado para comparação com os dados relacionados na lite-ratura é aquele representado pela equação 6.

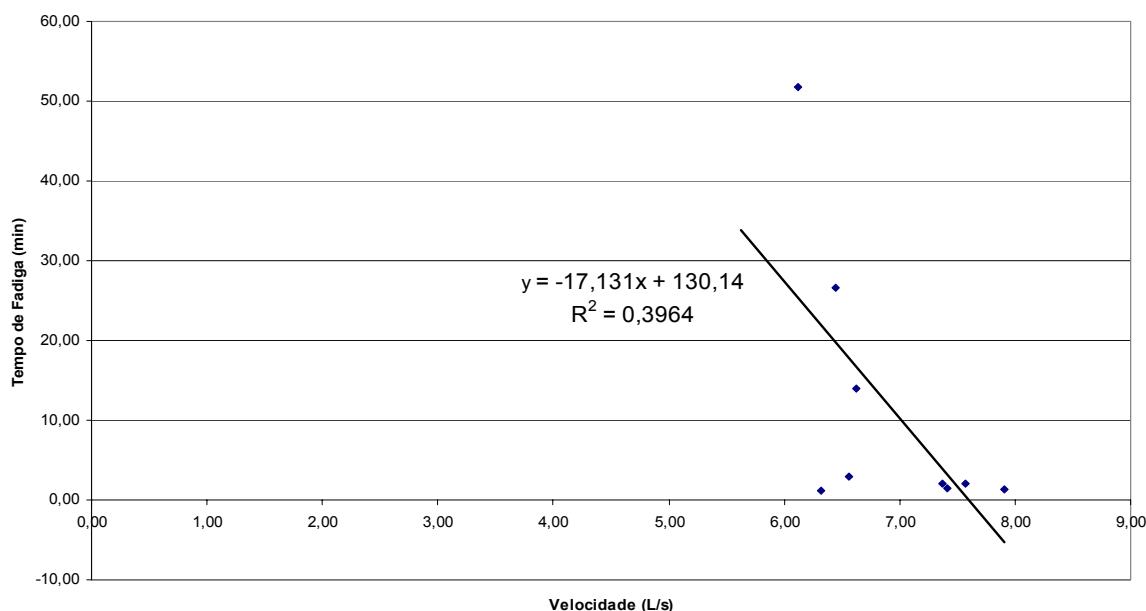


Figura 12 – Gráfico regressão linear da velocidade do mandi em função do tempo de fadiga.

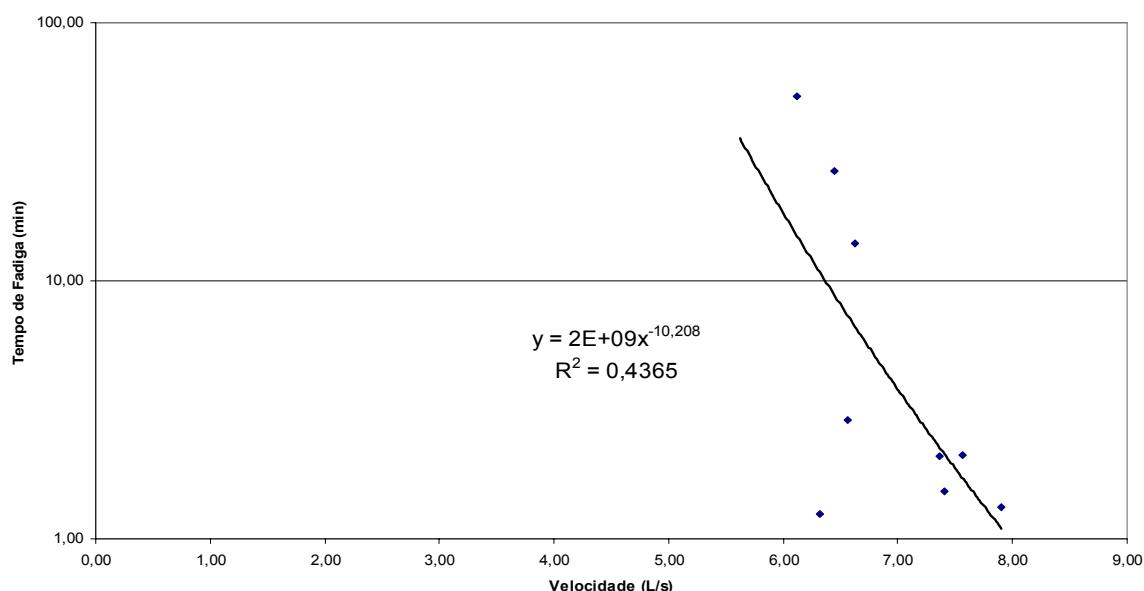


Figura 13 – Gráfico regressão exponencial da velocidade em função do tempo de fadiga após tratamento das amostras.

Análise dos dados

Com os dados obtidos nos ensaios foi possível construir a Figura 14, que apresenta as curvas de velocidades de três espécies de peixes, sendo uma o mandi amarelo, espécie neotropical endêmica nas bacias mais importantes da rede hidrográfica brasileira. Note-se como o salmão e a truta, apesar de serem espécies de maior porte desenvolvem uma velocidade inferior à do mandi, quando comparadas aos seus próprios comprimentos corporais.

Esta constatação nos leva a refletir sobre as outras espécies de peixes neotropicais que povoam os rios brasileiros. Fica destacada no gráfico a diferença entre as faixas de velocidades em comprimento do peixe por segundo (L_{peixe}/s) que delimitam as fronteiras entre os tipos de velocidades. Enquanto as faixas superiores de velocidade prolongada do salmão estão próximas de 4,0 a 4,5 L_{peixe}/s , para o mandi estão, como dito anteriormente, em 7,5 a 8,0 L_{peixe}/s .

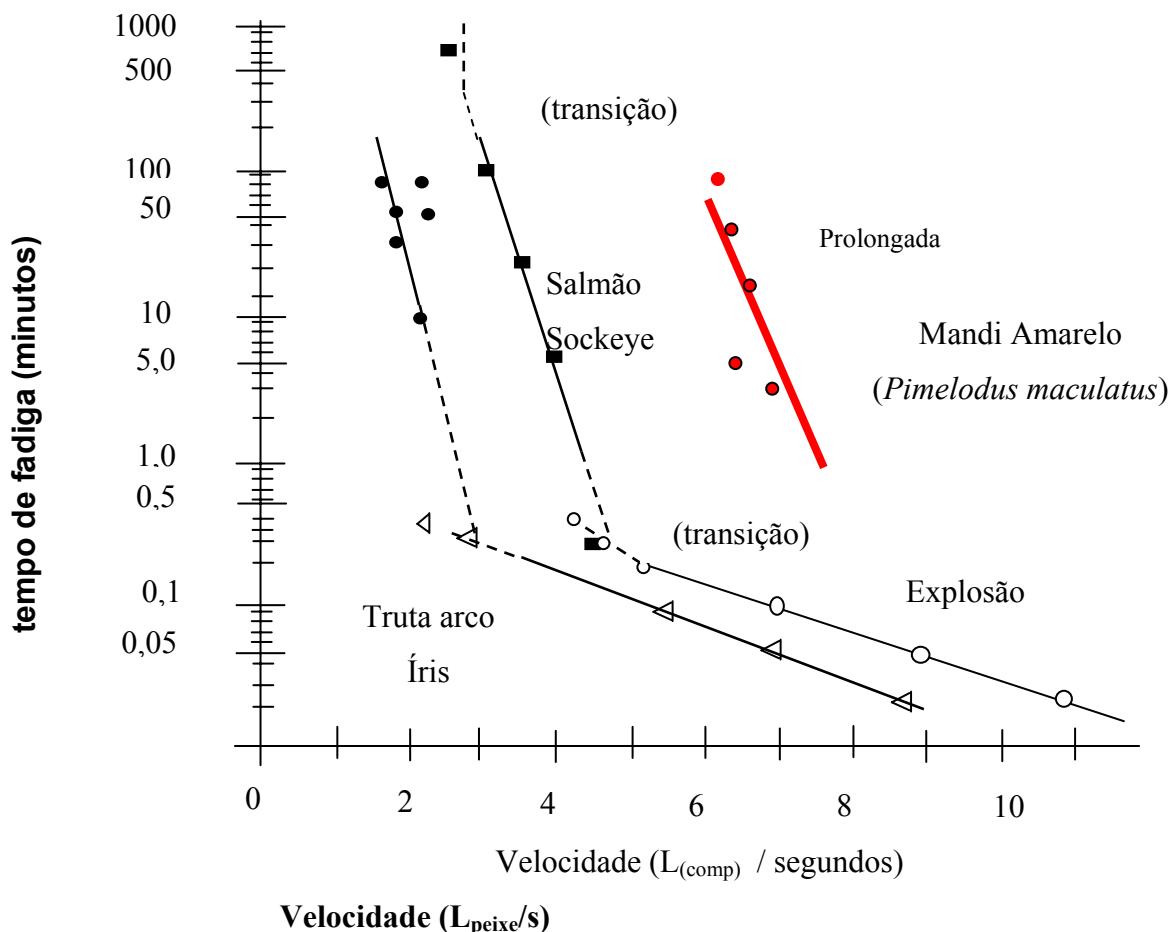


Figura 14 – Gráfico comparativo de velocidades em função do tempo de fadiga para o mandi amarelo, a truta arco-íris e o salmão Sockeye. (fonte: própria, baseado em adaptação de Beamish, 1978)

CONCLUSÕES

Frente aos resultados dos testes, resumidos na Figura 14, torna-se possível concluir que os valores obtidos apontam para uma maior capacidade de nado de nossa ictiofauna em relação às dos países de clima temperado (utilizando-se o conceito de velocidade em função de comprimentos do peixe por segundo (L_{peixes}/s)). Isso mostra a necessidade da continuidade desses estudos no sentido de ampliar o conhecimento sobre os peixes neotropicais. Assim pode-se vislumbrar em um futuro próximo que os projetos de mecanismos de transposição de peixes (MTP) possam ser mais adequados aos peixes e rios brasileiros.

Pode-se concluir que os estudos de velocidade natatória realizados para o mandi amarelo são consistentes e incrementam o conhecimento da es-

pécie especificamente, além de abrir um novo horizonte de estudos para outras espécies neotropicais. Os valores de velocidade prolongada crítica giram na faixa de 1 a 1,6 m/s, para essa espécie que é de pequeno porte. Assim pode-se recomendar que velocidade média do escoamento em MTP do tipo escada deve girar em torno de 1,4 m/s.

Se analisarmos os resultados obtidos por Viana (2005) verificamos que apenas na passagem entre os anteparos das escadas para peixes a velocidade alcança valores de 2,0 m/s. Assim pode-se ver que existe uma grande dificuldade do mandi amarelo para transpor a passagem entre estes anteparos. Apesar disso a experiência mostra que estes indivíduos conseguem transpor os MTPs e realizar assim a migração. Isso indica que o mandi amarelo se utiliza também da velocidade de explosão no evento de passagem entre os tanques do MTP.

REFERÊNCIAS

- BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.
- BELL, W. H.; Terhune, L. D. B. Water tunnel design for fisheries research. Fish Res. Board Canada Tech. Rep., n. 195, p. 1-69, 1978 apud KORSMEYER, Keith E.; Steffensen, John F.; HERSKIN, Jannik. Energetics of median and paired fin swimming, body and caudal fin swimming an gait transition in parrotfish (*Scarus schlegeli*) and triggerfish (*Rhinocanthus aculeatus*). Journal of experimental biology, n. 205, p. 1253-163, 2002.
- BRETT, J. R. The respiratory metabolism and swimming performance and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). Journal Fish. Res. Board Can., n. 23, 1964, p. 1183-1226 apud BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.
- CLAY, C. H. Design of fishways and other fish facilities, 2. ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 248 p.
- JONES, D. R. & RANDALL, D. J.; The respiratory and circulatory systems during exercise. In Fish Physiology. vol. VII. New York, 1978, p. 425-492.
- KORSMEYER, Keith E.; STEFFENSEN, John F.; HERSKIN, Jannik. Energetics of median and paired fin swimming, body and caudal fin swimming an gait transition in parrotfish (*Scarus schlegeli*) and triggerfish (*Rhinocanthus aculeatus*). Journal of experimental biology, n. 205, p. 1253-163, 2002.
- SANTOS, Hersília A. Metodologia de Medição de Capacidade Natatória de Peixes Brasileiros, dissertação de mestrado – Programa de Pós Graduação em Saneamento Meio Ambiente e R.H, E. Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2004, 218 p.
- SATO, Y.; CARDOSO, E.L.; AMORIM, J.C.C. 1987. Peixes das lagoas marginais do São Francisco a montante da represa de Três Marias (Minas Gerais). Brasília, CODEVASF, 42pp.
- VIANA E. M.F.; Mapeamento do Campo de Velocidades em Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Slot Vertical em Diferentes Escalas, Programa de Pós Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2005. 226 p.
- WEBB, Paul W. The swimming energetics of trout- I. Thrust and power output at cruising speeds. Journal of experimental biology, n. 55, p. 489-520, 1971.

*Survey of Prolonged Speed of Fish – A Case Study Using Mandi (*Pimelodus Maculatus*)*

ABSTRACT

*The present study used fixed and increasing velocity tests in an experimental apparatus based on Brett's respirometer to examine prolonged and sustained speeds of the mandi-amarelo, *Pimelodus maculatus*. When comparing the curves of critical speed versus total length between the mandi and the sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*, it is observed that for an equal total length, the mandi presents greater speed, probably due to water temperature differences. The sustained speed for the species was estimated as 5 lengths per second and the percentage of fatigued fish within time at a certain velocity was established. The data raised for the mandi represent an important contribution for the improvement of the handling of the species, providing guidance and criteria for designing several structures, such as fishways, fish screens and guidance systems.*

Keywords: Swimming Capability, Fishway.