



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOQUÍMICA E FISIOLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE BAIXA
INTENSIDADE NA ACEITAÇÃO DO ALIMENTO INERTE
NO SURUBIM *PSEUDOPLATYSTOMA CORRUSCANS***

LUCIANO CLEMENTE DA SILVA

RECIFE, 2014

LUCIANO CLEMENTE DA SILVA

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE BAIXA
INTENSIDADE NA ACEITAÇÃO DO ALIMENTO INERTE
NO SURUBIM *PSEUDOPLATYSTOMA CORRUSCANS***

Dissertação apresentada para o
cumprimento parcial das exigências para
obtenção do título de Mestre em
Bioquímica e Fisiologia pela Universidade
Federal de Pernambuco

Orientador RANILSON DE SOUZA BEZERRA
Coorientador VALDIR LUNA DA SILVA

RECIFE, 2014

Catálogo na fonte
Elaine Barroso
CRB 1728

Silva, Luciano Clemente da

Efeito da estimulação elétrica de baixa intensidade na aceitação do alimento inerte no surubim *Pseudoplatystoma corruscans*/ Luciano Clemente da Silva– Recife: O Autor, 2014.

50 folhas: il., fig., tab.

Orientador: Ranilson de Souza Bezerra

Coorientador: Valdir Luna da Silva

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Ciências Biológicas. Bioquímica e Fisiologia, 2014.

Inclui bibliografia

- 1. Peixe- criação 2. Campos elétricos 3. Peixe- alimentação e rações I. Bezerra, Ranilson de Souza (orientador) II. Silva, Valdir Luna da (coorientador) III. Título**

639.3

CDD (22.ed.)

UFPE/CCB-2015-141

LUCIANO CLEMENTE DA SILVA

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE BAIXA
INTENSIDADE NA ACEITAÇÃO DO ALIMENTO INERTE
NO SURUBIM *PSEUDOPLATYSTOMA CORRUSCANS***

Dissertação apresentada para o
cumprimento parcial das exigências para
obtenção do título de Mestre em
Bioquímica e Fisiologia pela Universidade
Federal de Pernambuco

Aprovado por:

Prof. Dr. Ranilson de Souza Bezerra
Presidente

Dr. Augusto Cezar Vasconcelos de Freitas Júnior

Prof. Dr. Valdir Luna da Silva

Prof. Dr. Ronaldo Oliveira Cavali

Data: 20 / 02 / 2014

Dedico este trabalho a meus pais, minha esposa e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

À todos que deram apoio das mais diversas formas: moral, financeira, emocional e intelectual.

Aos meus pais Sr. Leuvino João da Silva e Sr^a. Maria Amélia Clemente da Silva, por tudo que fizeram e fazem por mim, e que culminou neste trabalho.

À minha amada esposa Kássia de Oliveira, pelo apoio em todas as minhas decisões, por mim completar, e ser um dos incentivos das minhas conquistas.

Aos orientadores e amigos Valdir Luna, que com sua tranqüilidade transmite segurança e confiança para o desenvolvimento dos trabalhos e Ranilson de Souza, que com sua empolgação e confiança incentiva à buscar cada vez mais a perfeição.

Aos Amigos, que são o analgésico nos momentos de dor psíquica e também física com suas brincadeiras e colaborações intelectuais, imprescindíveis para um bom andamento dos estudos em laboratórios.

Aos professores, que nos formam nos ajudando a perceber a realidade e a encará-la com profissionalismo.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições que nos levou a melhorar este manuscrito.

Aos órgãos de fomento CAPES e FACEPE pela importante contribuição financeira para este trabalho.

“Os homens são miseráveis, porque não sabem ver nem entender os bens que estão ao seu alcance”.

Pitágoras

RESUMO

A piscicultura do surubim vem crescendo nas últimas décadas no Brasil com a produção de mais de 670 toneladas em 2007, porém ainda existem problemas em algumas fases do cultivo como na reprodução e alimentação dos juvenis. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aceitação do alimento inerte pelo surubim submetido à estimulação elétrica (EE) de baixa intensidade, sendo necessária a determinação da melhor frequência de campo elétrico e avaliar o efeito deste campo no impulso alimentar dos animais. Para a determinação da frequência de melhor desempenho foram utilizados 28 juvenis de *Pseudoplatystoma corruscans* divididos em quatro grupos: três estimulados, com as frequências 10, 25 e 30 Hz com amplitude de saída no aparelho de 100 mV sendo na água uma amplitude de 2,5 mV/cm e um grupo controle. Para avaliar os efeitos sobre o impulso alimentar foram utilizados mais 14 animais que foram divididos em dois grupos, controle e o estimulado com frequência de 30 Hz. Os grupos foram alimentados com ração extrusada 36% de proteína que era ofertada simultaneamente com o estímulo. Os parâmetros observados foram ganho de peso médio, latência, comprimento total médio, consumo médio diário e o fator de condição. A frequência que apresentou melhor desempenho foi a de 30 Hz. Os animais submetidos a esta frequência apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) do grupo controle nos seguintes parâmetros: Ganho de peso médio ($5,936 \pm 1,365$ g e $2,320 \pm 0,510$ g respectivamente), comprimento total médio ($20,614 \pm 0,63$ cm e $18,557 \pm 0,6$ cm) e consumo diário ($4,966 \pm 0,513$ g e $2,863 \pm 0,220$ g). Os grupos estimulados apresentam diferença ao grupo controle em relação à latência ($p < 0,01$). O fator de condição não apresentou diferença estatística entre o grupo estimulado e controle. Este trabalho resultou na solicitação de depósito da patente da técnica no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) no dia 28/12/2012, cujo nº do pedido é BR 10 2012 033510-7. A aplicação da estimulação elétrica de baixa amplitude e frequência na piscicultura do surubim demonstrou ser uma técnica promissora que pode proporcionar maior desempenho no cultivo destes animais.

Palavras chaves: Eletroestimulação; Surubim; Comportamento Alimentar; Piscicultura; campo elétrico.

ABSTRACT

Surubim fish farming has been growing in recent decades in Brazil with production of over 670 tons in 2007, but there are still problems in some stages of cultivation as the breeding and feeding. The aim of this work was evaluate the acceptance of inert food for surubim subjected to electrical stimulation (ES) of low intensity, determining the best frequency of electric field is needed to evaluate the effect of this field on the feeding pulse animals. To determine the best performing frequency were used 28 juveniles *Pseudoplatystoma corruscans* divided into four groups: three stimulated, with frequencies 10, 25 and 30 Hz with amplitude of 100 mV in appliance with in water an amplitude of 2.5 mV.cm⁻¹ and a control group. To assess the effects about the feeding pulse, over 14 animals were used divided in two groups, control and stimulated with frequency 30 Hz. The groups were fed with 36 % protein ration that was offered simultaneously with the stimulus. The parameters measured were average weight gain, latency, mean total length, average daily consumption and condition factor. The 30 Hz frequency have the best performance. Animals subjected to these frequencies showed significant differences ($p < 0.05$) from the control group on the following parameters: mean weight gain (5.936 ± 1.365 g and 2.320 ± 0.510 g respectively) , mean total length (20.614 ± 0.63 cm and $18,557 \pm 0.6$ cm) and daily intake (4.966 ± 0.513 g and 2.863 ± 0.220 g). Stimulated groups show differences to the control group in relation to latency ($p < 0.01$). The condition factor showed no statistical difference between the experimental group and control. Filed the patent technique was requested on 28/12/2012 at National Industrial Property Institute (INPI), whose point of application is 10 BR 2012 0335 10-7. The application of electrical stimulation of low amplitude and frequency in the surubim aquaculture, is demonstrated a promising technique which can provide higher performance in the cultivation of these animals.

Key words: Electrical stimulation; Surubim; Feeding Behavior; Piscicultura; electric field.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 11 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 13 |
| 2.1. Eletroestimulação | 13 |
| 2.2. Eletorrecepção em Siluriformes | 15 |
| 2.3. O surubim na piscicultura do Brasil..... | 17 |
| 2.4. Fisiologia sensorial e comportamento alimentar do surubim | 20 |
| 3. OBJETIVOS | 22 |
| 3.1. Geral | 22 |
| 3.2. Específicos..... | 22 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 23 |
| 5. EFEITO DE CAMPO ELÉTRICO NO IMPULSO ALIMENTAR DO SURUBIM (<i>Pseudoplatystoma corruscans</i> AGASSIZ, 1829)..... | 28 |
| 5.1. Introdução..... | 29 |
| 5.2. Material e métodos | 30 |
| 5.3. Resultados e discussão..... | 33 |
| 5.4. Conclusão | 38 |
| 5.5. Agradecimentos | 38 |
| 5.6. References | 39 |
| 6. PATENTE: ESTIMULADOR ELÉTRICO PARA ALIMENTAÇÃO E ATRAÇÃO DE PEIXES E SEU PROCESSO DE UTILIZAÇÃO | 41 |
| 6.1. Campo da invenção | 42 |
| 6.2. Descrição do estado da técnica | 42 |
| 6.3. Apresentação dos problemas existentes..... | 44 |
| 6.4. Apresentação da solução em linhas gerais | 44 |
| 6.5. Descrição detalhada do invento | 45 |
| 6.6. Exemplo comparativo | 46 |
| 6.7. Reivindicações | 46 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 6.8. Resumo..... | 47 |
| 6.9. Referência bibliográfica..... | 47 |
| 7. CONCLUSÕES..... | 50 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

A eletrorrecepção é uma característica bastante difundida entre vários grupos de peixes e até mesmo em outros grupos como anfíbios e monotremados. Esta característica refere-se à capacidade do animal de detectar campos elétricos de baixa intensidade, que pode variar de frequência dependendo da espécie (BULLOCK et al., 1979; ZAKON, 1988; KRAMER, 1996; PETTIGREW, 1999; KAJIURA, HOLLAND, 2002; FREITAS et al. 2006). Até o momento são conhecidos dois tipos de eletrorrecepção: a passiva, em que o animal detecta campos elétricos produzidos por outros animais (como o campo elétrico produzido pelo funcionamento cardíaco) e a ativa, que é exclusiva dos peixes eletrogênicos, que produzem um campo elétrico e detectam as alterações provocadas nesse campo por outros organismos ou objetos (KRAMER, 1996).

Vários estudos sobre a estrutura e função dos eletrorreceptores, órgãos envolvidos na eletrorrecepção, evidenciam mudanças durante o período de desenvolvimento larval e na maturação sexual. Isso sugere a importância desse sistema sensorial em diversas etapas do ciclo de vida destes animais (HOPKINS, 1988). A ordem siluriforme, onde estão inseridos os peixes eletrorreceptivos vulgarmente conhecidos como bagres, possui uma ampla distribuição geográfica, sendo encontrados tanto em águas continentais quanto marinhas. São 3093 espécies divididas em 36 famílias com 478 gêneros (MARTINEZ et al. 2008). Nos Siluriformes em geral os eletrorreceptores são ajustados para captar campos elétricos que variam em baixas frequências (COLLIN, WHITEHEAD, 2004; PETERS, BUWALDA, 1972). Nesse grupo, como em outros, a eletrorrecepção está associada principalmente à detecção e captura das presas e possivelmente exerce importante papel neste comportamento.

Várias espécies desta ordem têm grande importância econômica. No Brasil as espécies do gênero *Pseudoplatystoma* são as mais importantes do ponto de vista econômico sendo considerados os peixes de água doce de maior valor no mercado devido à qualidade de sua carne, de sabor suave e livre de espinhos intramusculares. Isto, aliado à redução dos estoques naturais, vem incentivando seu cultivo, que tem como característica um grande potencial produtivo (KUBITZA et al., 1998). Os surubins ocorrem nas principais bacias hidrográficas da América do sul e sua distribuição inclui os rios São Francisco, Paraná, Paraguai, Amazonas e Parnaíba e seus afluentes (BURGESS, 1989; BENITES, 2008).

A piscicultura das diferentes espécies de surubim vem crescendo no Brasil nos últimos anos, porém ainda enfrenta significantes limitações sendo as principais relacionadas à reprodução (larvicultura e alevinagem) e à nutrição, principalmente nestes estágios de vida, o que leva a uma alta taxa de mortalidade (ENOUE et al., 2009). A alimentação de peixes carnívoros, como o surubim, é um dos principais gargalos para a produção em cativeiro destes animais (LOPES et al., 1996). Isto proporciona um elevado custo para os produtores, quando comparado a outras espécies, devido à necessidade do fornecimento de alimento vivo para as larvas e da alta taxa de mortalidade durante os processos de substituição deste alimento por dieta inerte (ração). Neste sentido, estudos que levem ao desenvolvimento tecnológico que melhore a aceitação do alimento inerte reduzindo a mortalidade e os custos para a produção desta espécie carnívora em cativeiro, são de grande relevância.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Eletroestimulação

A estimulação elétrica (EE) é um método bastante utilizado em diversos tratamentos desde o Egito antigo, onde era usada a descarga elétrica de peixes para fins analgésicos. Hoje, com os avanços tecnológicos, é possível a sua utilização no tratamento de feridas cutâneas (RUIZ-SILVA, 2006), na fisioterapia no tratamento de pacientes hemiparéticos, para o aumento da força muscular e em tratamentos estéticos (DOMINGOS, 2010; SALVINI et al., 2012). A EE nestas áreas é feita por aparelhos que emitem sinais elétricos que variam em frequência, 1 a 1450 Hz, e amplitude da corrente elétrica de 0,1 a 50 mA. Comumente, a forma da onda é quadrada, balanceada e bifásica sem deixar resíduos de cargas no local estimulado (DOMINGOS, 2010), mas pode ter outras formas (fig. 1).

Mayer e Liebeskind (1974); Coubes et al. (2004) e Fisher et al. (2010), demonstraram a benéfica utilização da EE direta em regiões do cérebro, reduzindo a sensação de dor (efeito analgésico), como um tratamento efetivo da distonia generalizada (aumentando a eficácia do medicamento) e como tratamento da epilepsia (reduzindo os episódios de convulsão). Os efeitos deste método dependem da frequência e amplitude do sinal elétrico empregado na estimulação. De modo geral, isto significa que uma determinada frequência e/ou amplitude podem não ser adequadas a uma determinada aplicação, (SALVINI et al. 2012).

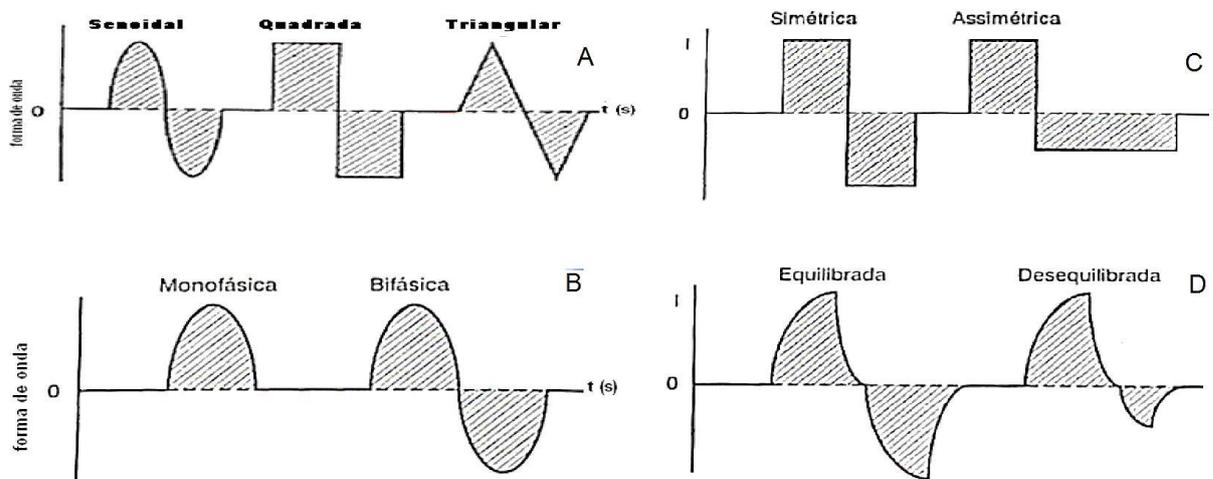


Fig. 1 Variedade nas formas de ondas elétricas utilizadas na eletroestimulação. (A) Ondas bifásicas: senoidal, quadrada e triangular; (B) classificação por número de fases; (C) classificação quanto à simetria na intensidade da corrente em cada fase e (D) classificação quanto ao equilíbrio entre fases da onda elétrica, com relação a sua intensidade. Modificado de Ruiz-Silva (2006).

A EE também é um método eficaz para repelir alguns grupos animais, como os tubarões e raias de forma específica sem causar prejuízo às demais espécies e a grande maioria dos trabalhos e patentes de dispositivos (fig. 2), estão focados neste grupo (LOCKLEAR, 2007; BROAD et al., 2010). Para a estimulação de animais eletorreceptivos pode-se assumir a mesma ideia, que é empregada na EE utilizada na estética e na saúde, neste caso as variações no sinal elétrico vão alterar a percepção da espécie alvo ao estímulo podendo atrair ao em vez de repelir ou vice e versa.

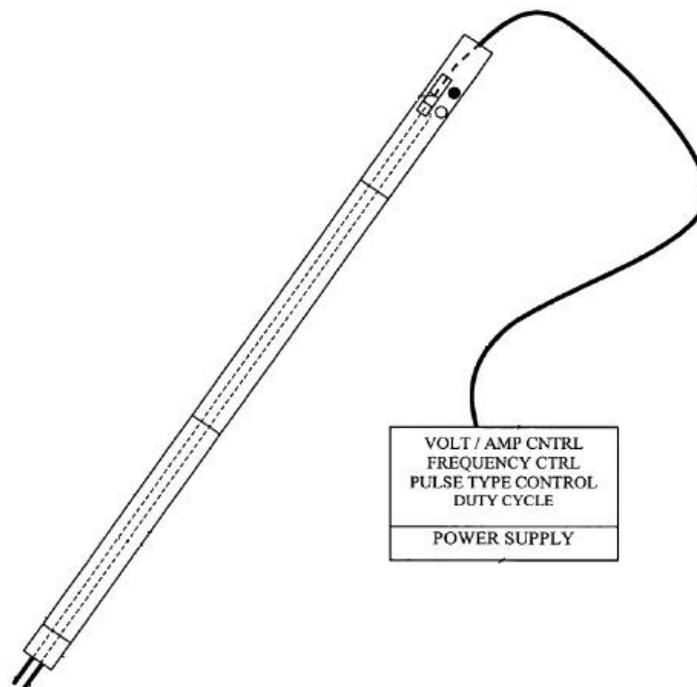


Fig. 2 Dispositivo de controle elétrico para animais marinhos, patenteado no United States Patent por Dennis Locklear em 2007, número da patente US007174668B2.

A principal diferença entre a EE utilização na saúde e a utilizada em animais eletorreceptivos está apenas no método de aplicação da corrente, que na estimulação de peixes, por exemplo, é feita indiretamente com a geração de um campo elétrico no corpo d'água, porém os conceitos gerais são os mesmos. Assim é necessário determinar qual frequência e amplitude é adequada para uma determinada aplicação como também para uma determinada espécie. Mesmo a EE ainda sendo uma ferramenta mais utilizada na área da saúde (DAVINI et al. 2005; CARVALHO et al., 2008; OLIVEIRA, 2011), sua utilização na estimulação de animais, principalmente os eletorreceptivos, pode ampliar seu campo de utilização.

2.2. Eletorrecepção em Siluriformes

A eletorrecepção é uma modalidade sensorial bem conhecida em vertebrados, principalmente naqueles com algum estágio de vida aquático: peixes, anfíbios e monotremados (PETTIGREW, 1999). Entre as mais de 30 ordens de teleósteos, apenas quatro são conhecidas como sendo eletorreceptivas. Uma delas é a dos siluriformes (ZAKON, 1988).

Sabe-se ainda, que um pequeno grupo de Siluriformes além da eletorrecepção é capaz de gerar descargas elétricas: são algumas espécies dos gêneros *Synodontis*, *Clarias* e *Malapterurus*, cujas descargas variam em baixas frequências e são geradas durante o comportamento agressivo e na defesa contra predadores, existindo ainda evidências do reconhecimento e interpretação deste sinal elétrico pelos coespecíficos (ORLOV, BARON, 2005; BARON, OLSHANSKY, 2009).

Os eletorreceptores conhecidos são de dois tipos: os ampulários, associados à eletorrecepção passiva, e os tuberosos, utilizados na eletorrecepção ativa (NOGUEIRA, 2006) (Fig. 3).

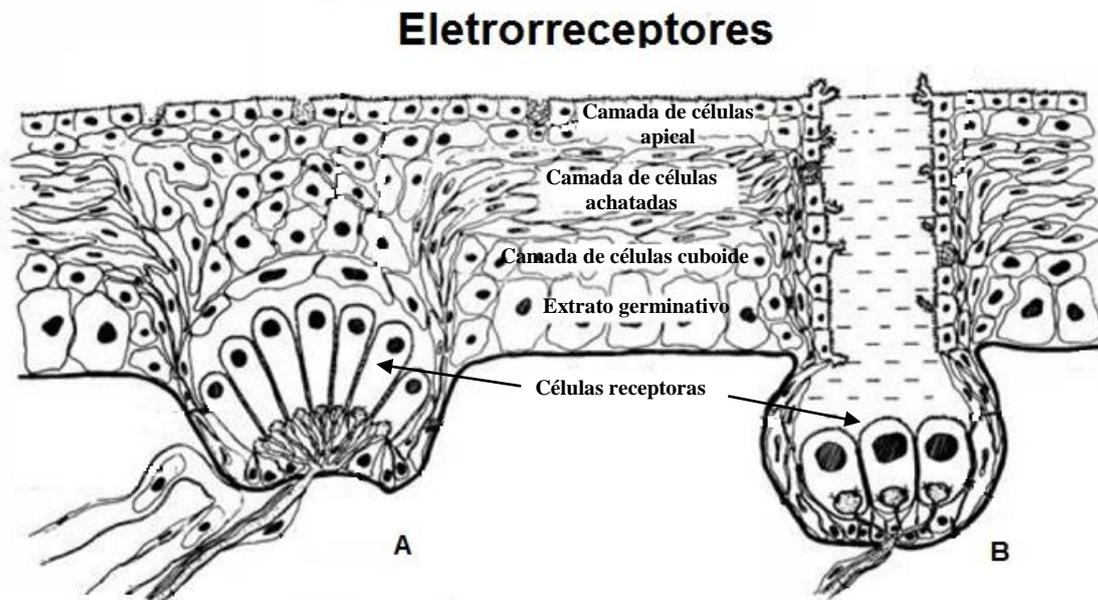


Fig. 3 Exemplos de eletorreceptores do tipo (A) tuberoso e (B) ampulário encontrados em espécies eletorreceptivas de peixes teleósteos. Modificado de Nogueira (2006).

Os Siluriformes apresentam eletrorrecepção passiva e possuem receptores ampulários com maior densidade, geralmente na cabeça do animal. Esses receptores são ajustados para captar campos elétricos que variem em baixas frequências, em torno de 25 Hz segundo Collin e Whitehead (2004). Peters e Buwalda (1972) encontraram uma faixa de sensibilidade variando de 6 a 12 Hz no siluriforme *Ictalurus nebulosus*. Em outro siluriforme, *Clarias gariepinus*, demonstrou-se que os mesmos são capazes de detectar campos elétricos tão pequenos quanto 13 μV com frequências variando até 30 Hz. Nesses animais, o formato de onda não influenciou sua percepção, sendo eles capazes de detectar ondas senoidais ou quadradas (HANIKA, KRAMER, 2000). Na natureza, esses animais são especializados em localizar e preda outros peixes, principalmente os peixes elétricos de baixa voltagem das ordens Osteoglossiformes e Gymnotiformes. O pico de sensibilidade do *Parasilurus asotus* também variou entre 1-30 Hz, sendo esta faixa de sensibilidade evidenciada em outros Siluriformes mesmo em diferentes habitats (ASANO, HANYU, 1987). O *Amiurus nebulosus* demonstrou sensibilidade a campos elétricos de 0,3 mV/cm e intensidade de corrente de 0,005 $\mu\text{A}/\text{mm}^2$, exibindo o comportamento alimentar até 30 mV/cm e um comportamento aversivo a campos como intensidade de 75 mV/cm (ROTH, 1968).

A importância deste sistema sensorial é bem estudada em peixes cartilagosos, que em experimentos comportamentais detectavam eletrodos que emitiam sinal elétrico, incapaz de serem detectados por qualquer outro sistema sensorial que não a eletrorrecepção. Neste grupo a eletrorrecepção é usada na detecção de presas e de possíveis predadores (pelos juvenis), em comportamentos sociais e na orientação geomagnética. Nos Siluriformes, como nos peixes cartilagosos, a eletrorrecepção está associada com a orientação e predação (COOMBS et al. 2002; COLLIN, WHITEHEAD, 2004; ARAUJO, 2011).

Asano e Hanyu (1986) estudaram o significado biológico da eletrorrecepção em *Parasilurus asotus* e constataram que peixes cujos olhos foram removidos cirurgicamente não diferiram do controle em relação à precisão na captura da presa, e estes mesmos animais, quando testados quanto à preferência a cubos de músculo de carpa, um estimulado eletricamente e outro não, demonstraram maior preferência pelo cubo eletricamente estimulado.

2.3. O surubim na piscicultura do Brasil

O Brasil ainda ocupa uma modesta posição no cenário mundial na produção de pescado, mesmo possuindo uma grande extensão em lamina d'água e um amplo litoral. A produção brasileira de pescado utiliza uma pequena parcela do seu potencial, podendo assim atender à crescente demanda internacional com possibilidade de produzir cerca de 20 milhões de toneladas/ano até 2030, tornando-se um dos maiores produtores de pescado do mundo, dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) divulgado em 2011.

A piscicultura das espécies do gênero *Pseudoplatystoma* (pintado e cachara) vem se destacando nas ultimas décadas. Segundo Mouriño et al. (2012), a produção do surubim no Brasil em 2007 ultrapassou 670 toneladas.

Surubins são peixes da família Pimelodidae que ocorre nas principais bacias hidrográficas da América do sul, e refere-se às espécies do gênero *Pseudoplatystoma*, este compreende os maiores peixes da ordem Siluriformes (ROMAGOSA et al., 2003b). As primeiras espécies identificadas no Brasil são: *Pseudoplatystoma coruscans* Spix & Agassiz (pintado) da bacia do Prata e São Francisco, *Pseudoplatystoma fasciatum* Bleeker (cachara) da bacia do Prata e Amazônica, *Pseudoplatystoma tigrinum* Valenciennes (caparari) endêmico da bacia Amazônica (WELCOME, 1985; PETRERE, 1995) (fig. 4). Existem ainda outras cinco recentemente identificadas: *P. punctifer* Castelnau, *P. reticulatum* Eigenmann & Eigenmann, *P. orinocoense* n. sp., *P. metaense* n. sp., e *P. magdaleniatum* n. sp., (BUIRAGO-SUAREZ, BURR, 2007).

As principais características morfológicas do surubim são: presença de três pares de barbilhões na região maxilar, cabeça deprimida com um processo occipital posteriormente estendido e uma fontanela bastante alongada, segundo a descrição de Buitrago-Suarez e Burr, (2007). Sua pigmentação consiste de bandas claras e escuras, podendo estas ser reticuladas ou manchas circulares (BUIRAGO-SUAREZ, 2006). Embora o crescimento das fêmeas seja mais acelerado que o dos machos, o gênero não possui dimorfismo sexual aparente, o que dificulta sua reprodução em cativeiro (ROMAGOSA et al., 2003a).

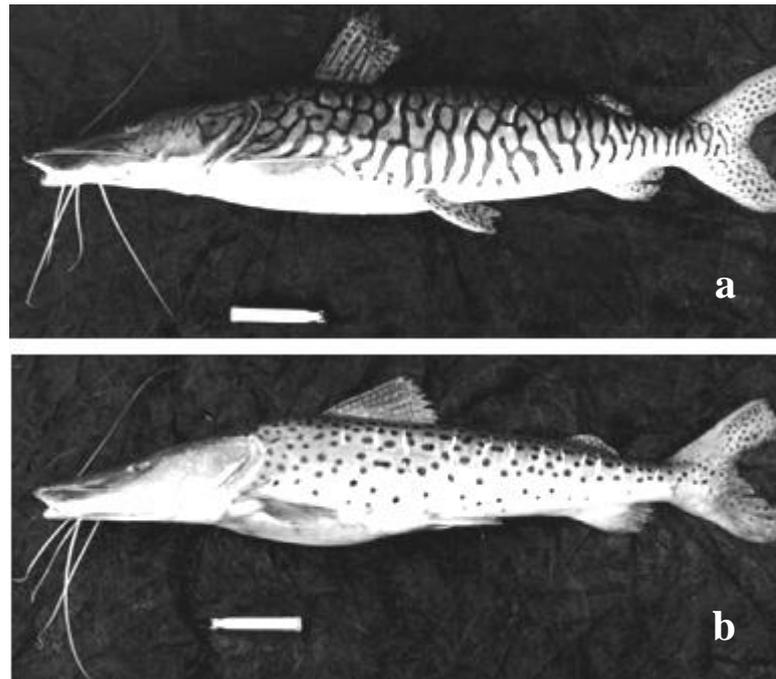


Fig. 4: Exemplares de *Pseudoplatystoma reticulatum* (a) e *P. corruscans* (b) ambos do rio Paraná. Modificado de Crepaldi et al. (2006). Foto: Mark. H. Sabaj.

A qualidade de sua carne gera um grande interesse comercial e a redução dos estoques naturais vem incentivando seu cultivo, mas ainda não existe um completo domínio do processo de produção. As principais limitações no cultivo do surubim são relacionadas à nutrição, principalmente nas fases jovens e à reprodução, devido ao problema de sexagem e identificação dos estágios de maturidade gonadal (CREPALDI et al. 2006). Isto dificulta a escolha de boas matrizes, fator que influencia na taxa de eclosão e no desenvolvimento das larvas (NÚÑEZ et al. 2011). A larvicultura é um dos gargalos da produção na piscicultura de peixes carnívoros em geral, onde a alimentação das larvas é o ponto crítico devido a pouca aceitação da ração comercial nesta fase, sendo isto, bem exemplificado no cultivo do surubim (LOPES et al., 1996). Atualmente o cultivo de surubins é feito com o híbrido de *P. corruscans* com o *P. fasciatum*, por se acreditar que apresentam maior rendimento e docilidade. Ainda segundo Crepaldi et al. (2006), o principal motivo para altos índices de mortalidade e perdas no desempenho produtivo do surubim é a falta de conhecimento preciso sobre seu hábito alimentar e as exigências nutricionais nas diferentes fases do desenvolvimento. Isso gera deficiências na alimentação e na nutrição desses peixes, que é agravada no momento de substituição do alimento vivo por uma dieta com ração que ocorre na fase de alevinagem.

Isso obriga aos produtores o fornecimento do alimento vivo, em geral náuplios de *Artemia* sp. ao alevinos. E como ocorre com outras espécies carnívoras, o surubim passa por um período de treinamento, no qual é substituída gradativamente a alimentação viva pela inerte (ração) (TAKATA 2007). Este período é extremamente importante para o sucesso produtivo, pois é inviável o fornecimento de alimento vivo durante todo o período de cultivo (MAIA, 2011).

Segundo Takata (2007), o fornecimento de náuplios de artemia para as larvas de surubim reduziu a taxa de mortalidade destas, porém outros parâmetros como a taxa de crescimento específico e o fator de condição não são significativamente superiores, quando comparados à oferta de náuplios a outras fontes de alimentos como coração bovino moído, biomassa de artemia congelada e juvenis de artemia. Alvarado (2003) tentou nessa fase o treinamento alimentar com artêmias para aumentar a taxa de sobrevivência, porém ele teve sucesso limitado devido aos aspectos nutricionais deste alimento, que não atende totalmente às exigências nutricionais do surubim, sendo necessária a correta determinação destas exigências para as diferentes fases de vida desta espécie. Zanardi et al (2008) testou três dietas com teor de proteína bruta 35, 40 e 45% no desempenho produtivo de juvenis de *P. corruscans* e obteve melhor resultado com a dieta cujo o teor de proteína era de 40% quando avaliado o ganho de peso, comprimento total, conversão alimentar aparente e a taxa de sobrevivência.

Vários estudos são realizados no sentido de dominar as técnicas de produção destes animais, como comparações entre viveiros de fluxo contínuo com tanques rede, métodos de alimentação testando o desempenho do surubim alimentado com diferentes rações, o efeito da luminosidade, salinidade e a densidade de estocagem sobre a sobrevivência e crescimento das larvas (LOPES et. al., 1996; TURRA, 2000; SOUSA, 2005; CAMPAGNOLO, NUÑER, 2008; FRASCÁ-SCORVO et al., 2008; TURRA et al., 2009), sendo estas as linhas de pesquisa mais comuns para a espécie.

Coelho e Cyrino (2006) avaliaram os custos da produção do surubim em gaiolas e demonstraram que esta forma de cultivo pode render bons lucros, mesmo com o custo total sendo relativamente alto, e estes custos podem ser amenizados utilizando-se a adequada densidade de povoamento dos viveiros. Os resultados indicam que o surubim possui excelente rendimento, apresentando boa produtividade mesmo sem nenhum processo de melhoramento genético, sendo um grupo bastante promissor para a piscicultura (CREPALDI et al., 2006).

Ainda existem possibilidades de agregar mais valor à carne do surubim, com beneficiamentos durante o cultivo e após. Um exemplo é o processo de defumação

(RAMIRES, 2008). Este processo além de proporcionar um produto com boa durabilidade e bom estado de conservação, também associa propriedade organolépticas como sabor e aroma agradáveis (SILVA, 2000).

2.4. Fisiologia sensorial e comportamento alimentar do surubim

Na maioria das espécies os diversos sistemas sensoriais colaboram em diversas fases do comportamento alimentar, participando das varias etapas do processo com importância diferente, dependendo das características do meio em que evoluíram. Em *P. corruscans*, durante a fase larval, Cestarolli (2005) realizou observações comportamentais que permitem supor que as larvas devam utilizar algum mecanismo sensorial, seja ele químico, mecânico ou elétrico, mais que o sentido da visão, na captura do alimento, uma vez que animais alimentados em total ausência de luz tinham o comportamento alimentar mantido. Nesse sentido, destaca-se o fato que a eletrorrecepção evoluiu principalmente naquelas espécies que habitam águas turvas ou escuras, em que o uso da visão é menos eficiente (KRAMER, 1996). Isso é uma realidade para a espécie em questão, cujo hábito noturno aumenta a necessidade de um sistema sensorial diferenciado. Nestes, a elevada densidade de eletrorreceptores, ao redor de 500/mm² (fig.5) na área próxima da comissura labial, (CESTAROLLI, 2005) leva a supor que essa modalidade sensorial efetivamente tenha grande importância na alimentação destes estágios de vida iniciais do surubim, provavelmente possibilitando a diferenciação de presas e possíveis predadores.

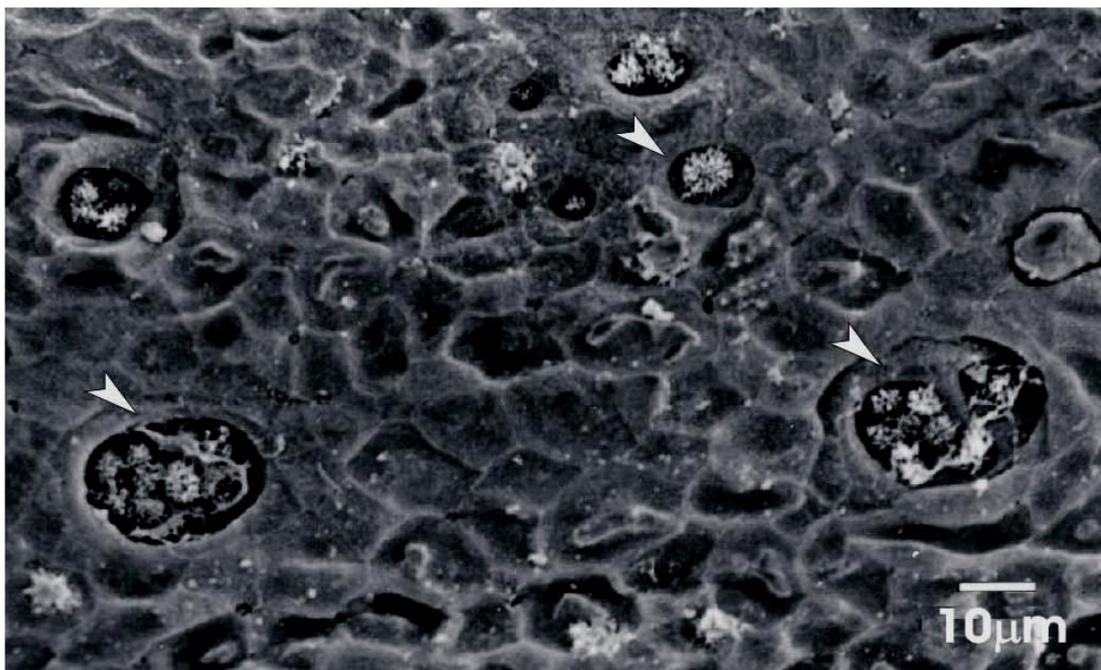


Fig. 5: Micrografia de varredura da epiderme na região da comissura labial de surubim (*P. corruscans*) juvenil, evidenciando eletrorreceptores ponta da seta (CESTAROLLI, 2005).

No caso de animais adultos, experimentos com *P. corruscans*, onde foi testado o sistema olfatório indicam que este é importante para as reações de fuga, mas não é essencial para um comportamento alimentar completo, tanto em quantidade quanto em qualidade tendo em vista que animais cujo trato olfatório foi lesionado apresentaram comportamento alimentar similar a de peixes normais (GIAQUINTO, HOFFMANN, 2010). Isso nos leva a acreditar que a palatabilidade da ração pode não ser um fator determinante para os problemas alimentares e a pouca aceitação dos alevinos a este alimento. Isso chama a atenção para a provável participação, com maior importância, de outros sistemas sensoriais. Embora alguns estudos como os de Cestarolli (2005) e Giaquinto, Hoffmann (2010) apontem uma importante participação da eletrorrecepção no comportamento alimentar do surubim, para o gênero *Pseudoplatystoma* não há estudos que determinem a sensibilidade a campos elétricos e a importância biológica dessa característica sensorial. Há poucos estudos focados na fisiologia do sistema eletrorreceptivo do surubim, sendo importante para o cultivo desta espécie o incentivo de pesquisas nesta área.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar a aceitação do alimento inerte pelo surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) submetido à estimulação elétrica (EE) de baixa intensidade.

3.2. Específicos

- Determinar a melhor frequência de campo elétrico para estimulação do Surubim;
- Avaliar o efeito deste campo no impulso alimentar do surubim.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, C.E.G. **Treinamento alimentar do pintado, *Pseudoplatystoma curuscans*, (Agassiz, 1829): Sobrevivência, crescimento e aspectos econômicos.** 2003. 72 p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.

ARAÚJO, A.A. Desenvolvimento do sistema sensorial do jundiá *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Heptapteridae). 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

ASANO, M.; HANYU, I. Biological significance of electroreception for a Japanese catfish. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 52, n. 5, p. 795-800, 1986.

ASANO, M.; HANYU, I. Sensitivity to electricity in the catfish, *Parasilurus asotus*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 86, n. 3, p. 485-489, 1987.

BARON, V.D.; OLSHANSKY, V.M. Monopolar Electric Discharges of the Catfish *Parasilurus asotus* (Siluridae, Siluriformes). **Journal of Ichthyology**, v. 49, n. 5, p. 403-408, 2009.

BENITES, C. **Caracterização genética do pintado *Pseudoplatystoma corruscans*, (Spix & Agassiz, 1829) (Siluriformes: Pimelodidae) da Bacia Paraná-Paraguai, por marcadores moleculares do tipo microssatélite.** 2008. 65 p. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. O potencial brasileiro para a aquicultura publicado em 29 agosto 2011. Disponível em <http://www.mpa.gov.br/index.php/aquiculturampa/informacoes/potencial-brasileiro>, acesso em 4/2/2014.

BROAD, A. et al. Effects of a shark repulsion device on rocky reef fishes: no shocking outcomes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 408, p. 295-298, 2010.

BUITRAGO-SUÁREZ, U.A. Anatomía comparada y evolución de las especies de *Pseudoplatystoma* Bleeker 1862 (Siluriformes: Pimelodidae). **Revista de la Academia colombiana de ciencias**, v. 30, p. 117-141, 2006.

BUITRAGO-SUÁREZ, U.A. e BURR, B.M. Taxonomy of the catfish genus *Pseudoplatystoma* Bleeker (Siluriformes: Pimelodidae) with recognition of eight species. **Zootaxa**, n. 1512, p. 1-38, 2007.

BULLOCK, T.H. et al. Aspectos do uso da descarga do órgão elétrico e eletrorrecepção de Gymnotoidei e outros peixes na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 9, n. 3, p. 549-572, 1979.

BURGESS, W.E. An Atlas of freshwater and marine catfishes: a preliminary survey of the Siluriformes. **T.F.H. Publications**, Neptune City, p. 784, 1989.

CARVALHO, L.C.; SHIMANO, A.C.; PICADO, C.H.F. Estimulação elétrica neuromuscular e o alongamento passivo manual na recuperação das propriedades mecânicas do músculo gastrocnêmio imobilizado. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 16, n. 3, p. 161-164, 2008.

CAMPAGNOLO, R.; NUÑER, A.P.O. Survival and growth of *Pseudoplatystoma corruscans* (Pisces - Pimelodidae) larvae: effect of photoperiod. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.60, n.6, p.1511-1516, 2008.

CESTAROLLI, M.A. **Larvicultura do pintado *Pseudoplatystoma coruscans* (Agassiz, 1829): aspectos da alimentação inicial e do desenvolvimento de estruturas sensoriais.** 2005. 110 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) Universidade Estadual Paulista – Jaboticabal, São Paulo.

COELHO, S.R.C.; CYRINO, J.E.P. Custos na produção intensiva de surubins em gaiolas. **Informações Econômicas**, v. 36, n. 4, p. 7-14, 2006.

COLLIN, S.P.; WHITEHEAD, D. The functional roles of passive electroreception in non-electric fishes. **Animal Biology**, v. 54, n. 1, p. 1-25, 2004.

COOMBS, S.; NEW, J.G.; Nelson, M. Information-processing demands in electrosensory and mechanosensory lateral line systems. **Journal of Physiology**, v. 96, p. 341–354, 2002.

COUBES, P. et al. Electrical stimulation of the globus pallidus internus in patients with primary generalized dystonia: long-term results. **Journal of Neurosurgery**, v. 101, p. 189-194, 2004.

CREPALDI, D.V. et. al. O surubim na aquicultura do Brasil. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 30, n. 3, p. 150-158, 2006.

DAVINI, R. et al. Tratamento de úlceras cutâneas crônicas por meio da estimulação elétrica de alta voltagem. **Revista de Ciências Médicas**, v. 14, n. 3, p. 249-258, 2005.

DOMINGOS, G.A. **Eletroestimulação torácica no tratamento da dor em pacientes com fibromialgia.** 2010. 61 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Fisioterapia) Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC.

ENOUE, L.A.K.A. et al. Princípios básicos para produção de alevinos de surubins (pintado e cachara). **Documento Embrapa 99**, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, Mato grosso do Sul, 2009.

FISHER, R. et al. Electrical stimulation of the anterior nucleus of thalamus for treatment of refractory epilepsy. **Epilepsia**, v. 51, n. 5, p. 899–908, 2010.

FRASCÁ-SCORVO et al. Influência da densidade de estocagem e dos sistemas de criação intensivo e semi intensivo no rendimento de carcaça, na qualidade nutricional do filé e nas características organolépticas do pintado *Pseudoplatystoma corruscans*. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 511-518, 2008.

FREITAS, R. et al. Developmental origin of shark electrosensory organs. **Evolution & Development**, v. 8, n. 1, p. 74–80, 2006.

GIAQUINTO, P.C.; HOFFMANN, A. Role of olfaction and vision cues in feeding behavior and alarm reaction in the catfish pintado, *Pseudoplatystoma corruscans*. **Japan Ethological Society**, n. 28, p. 21-27, 2010.

HANIKA, S.; KRAMER, B. Electrosensory prey detection in the african sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (Clariidae), of a weakly electric mormyrid fish, the bulldog (*Marcusenius macrolepidotus*). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, n. 48, p. 218–228, 2000.

HOPKINS, C.D. Neuroethology of electric communication. **Annual Reviews Neuroscience**, v. 11, p. 497-535, 1988.

KAJIURA, S.M.; HOLLAND, K.N. Electroreception in juvenile scalloped hammerhead and sandbar sharks. **The Journal of Experimental Biology**, v. 205, p. 3609-3621, 2002.

KRAMER, B. Electroreception and Communication in Fishes. In: Kramer, B. **Progress in Zoology**. 42. ed. Jena, Gustav Fischer Verlag, 1996. p. 119.

KUBITZA, F.; CAMPOS, J.L.; BRUM, J.A. Produção intensiva de surubins no Projeto Pacu. Ltda. e Água e peixe Ltda. In: **Anais da Aqüicultura**, Recife, Pernambuco, v. 1, p. 393-407, 1998.

LOCKLEAR, D. Inventor. Electrical control device for marine animals, United States Patent US 7174668 B2, 2007.

LOPES, M.C. et al. Alimentação de larvas de surubim pintado, *Pseudoplatystoma coruscans* (Agassiz, 1829), em laboratório, na primeira semana de vida. **Boletim técnico do CEPTA**, Pirassununga-SP, v. 9, p. 11-29, 1996.

MAIA, C.R. **Treinamento alimentar de juvenis de surubim híbrido**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. 35 p. Trabalho de conclusão de curso.

MARTINEZ, E.R.M. et al. Cytogenetic analysis of three catfish species of the family Pseudopimelodidae (Teleostei, Siluriformes). **Genetics and Molecular Biology**, v. 31, n. 3, p. 692-696, 2008.

MAYER, D.J.; LIEBESKIND, J.C. Pain reduction by focal electrical stimulation of the brain: an anatomical and behavioral analysis. **Brain Research**, v. 68, p. 73-93, 1974.

NOGUEIRA, A. **Diversidade do repertório eletrocomunicativo de *Microsternarchus cf. bilineatus* Fernández – Yépez, 1968 (Pisces: Gymnotiformes) durante a manutenção sexual em cativeiro**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM.

MOURIÑO, J.L.P. et al. Effect of dietary supplementation of inulin and *W. cibaria* on haemato-immunological parameters of hybrid surubim (*Pseudoplatystoma* sp). **Aquaculture Nutrition**, v. 18, p. 73-80, 2012.

NÚÑEZ, J. et al. Hatching rate and larval growth variations in *Pseudoplatystoma punctifer* : maternal and paternal effects. **Aquaculture Research**, v. 42, p. 764-775, 2011.

- OLIVEIRA, V.C. A eletroestimulação por microcorrentes na revitalização facial. 2011. 29 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Estética) Faculdade Redentor, SP.
- ORLOV, A.A.; BARON, V.D. Responses of the electrogeneration system of *Synodontis* (Mochokidae, Siluriformes) to weak electric fields. **Doklady Biological Sciences**, v. 403, p. 284-287, 2005.
- PETERS, R.C.; BUWALDA, R.J.A. Frequency response of the electroreceptors of the cat fish, *Ictalurus nebulosus* LeS. **Journal of Comparative Physiology**, n. 79, p. 29-38, 1972.
- PETTIGREW, J.D. Electroreception in monotremes. **The Journal of Experimental Biology**, v. 202, p. 1447-1454, 1999.
- PETREIRE JR, M. A pesca de água doce no Brasil. *Ciência Hoje*, v. 19, n. 110, p. 28-33, 1995.
- RAMIRES, D.G. **Valor agregado ao cachara *Pseudoplatystoma fasciatum*: efeito da sazonalidade e da defumação.** 2008. 47 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.
- ROMAGOSA, E. et al. Características morfométricas e crescimento do cachara, *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766), em cativeiro. **Acta Scientiarum. Animal Science**, v. 25, n. 2, p. 277-283, 2003a.
- ROMAGOSA, E. et al. Biologia reprodutiva de fêmeas de cachara, *Pseudoplatystoma fasciatum* (Teleostei, Siluriformes, Pimelodidae), mantidas em cativeiro. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 151-159, 2003b.
- ROTH, A. Electroreception in the Catfish, *Amiurus nebulosus*. *Z. Vergl. Physiologie*, v. 61, p. 196-202, 1968.
- RUIZ-SILVA, C. **Efeito da corrente elétrica de baixa intensidade em feridas cutâneas de ratos.** 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP.
- SALVINI, T.F. et al. Efeito da eletroestimulação e do alongamento muscular sobre a adaptação do músculo desnervado – implicações para a fisioterapia. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v. 16, n. 3, p. 175-183, 2012.
- SILVA, J. A. Conservação dos alimentos por defumação. In: SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia de alimentos.** São Paulo: Varela, 2000. p 175-180.
- SOUSA, A.D.L. **Efeito dos sistemas de criação semi-intensivo (viveiro escavado) e intensivo (tanque-rede) no desenvolvimento produtivo do pintado, *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Siluriformes: Pimelodidae).** 2005. 47 p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.

TAKATA, R. **Produção de juvenis de *Artemia franciscana* e análise da utilização de dietas vivas e inertes na larvicultura intensiva do pintado *Pseudoplatystoma coruscans*.** 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

TURRA, E.M. **Desempenho do surubim *Pseudoplatystoma* spp sob diferentes densidades de estocagem.** 2000. 55 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TURRA, E.M. et al. Densidade de estocagem do surubim *Pseudoplatystoma* spp. cultivado em tanque-rede. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 10, n. 1, p. 177-187, 2009.

WELCOMME, R.L. River fisheries. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Roma, p. 330, 1985.

ZAKON, H.H. The electroreceptors: diversity in structure and function. In: **Sensory Biology of Aquatic Animals**. Atema, J.; Fay, R. R.; Popper, A. N.; Tavolga, W. N. (Ed.). Berlin: Springer-Verlag, p. 813-850, 1988.

ZANARDI, M.F.; BOQUEMBUZO, J.E.; KOBERSTEIN, T.C.R.D. Desempenho de juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*) alimentados com três diferentes dietas. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n.4, p. 445-450, 2008.

5. EFEITO DE CAMPO ELÉTRICO NO IMPULSO ALIMENTAR DO SURUBIM (*Pseudoplatystoma corruscans* AGASSIZ, 1829).

Luciano Clemente da Silva¹; Valdir Luna da Silva¹; Ranilson de Souza Bezerra²

¹Laboratório de Fisiologia Comparada e Comportamento Animal, Departamento de Fisiologia e Farmacologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 123 Cidade Universitária Recife, Pernambuco, Brasil; ²Laboratório de Enzimologia Departamento de Bioquímico e Biofísico (UFPE).

RESUMO

A piscicultura do surubim vem crescendo nas últimas décadas no Brasil com a produção de mais de 670 toneladas em 2007, porém ainda existem problemas em algumas fases do cultivo como na reprodução e alimentação dos juvenis. Nosso objetivo foi determinar a melhor frequência do campo elétrico para estimulação e avaliar o efeito deste campo no impulso alimentar do surubim. Para a determinação da frequência de melhor desempenho foram utilizados 28 juvenis de *P. corruscans* divididos em quatro grupos, três estimulados, com as frequências 10, 25 e 30 Hz com amplitude de saída no aparelho de 100 mV sendo na água uma amplitude de 2,5 mV/cm e um grupo controle sem estímulo elétrico. Para avaliar os efeitos sobre o impulso alimentar foram utilizados 14 animais divididos em dois grupos, controle e estimulado com frequência de 30 Hz. Os grupos foram alimentados com ração extrusada 36% de proteína que era ofertada simultaneamente com o estímulo. A frequência que apresentou melhor desempenho foi a de 30 Hz. Os animais submetidos à estimulação por esta frequência apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) do grupo controle nos seguintes parâmetros Ganho de peso médio $5,936 \pm 1,365$ g e $2,320 \pm 0,510$ g respectivamente, comprimento total médio $20,614 \pm 0,63$ e $18,557 \pm 0,6$ e consumo $4,966 \pm 0,513$ g e $2,863 \pm 0,220$ g com as maiores médias de ambos os grupos no terceiro mês de tratamento. O fator de condição não apresentou diferença estatística entre estimulado e controle. Valores expressos em média \pm erro padrão. A aplicação da estimulação elétrica de baixa amplitude e frequência na piscicultura do surubim é uma técnica promissora que proporcionará maior desempenho no cultivo destes animais.

Palavras chaves: eletroestimulação; surubim; comportamento alimentar; piscicultura; campo elétrico.

5.1. Introdução

O surubim é um peixe da família Pimelodidae do gênero *Pseudoplatystoma* que ocorre nas principais bacias hidrográficas da América do sul. Compreendem os maiores peixes da ordem dos Siluriformes (RAMAGOSA et al., 2003). Sua distribuição inclui os rios Paraná, Amazonas, Orinoco, São Francisco, Parnaíba, entre outros (BURGESS, 1989). A qualidade de sua carne gera um grande interesse comercial e a redução dos estoques naturais vem incentivando seu cultivo, com grande potencial produtivo e de mercado, com uma produção de mais de 670 toneladas em 2007 (MOURIÑO et. al., 2012). Mas ainda não existe um completo domínio do processo de produção, sendo as principais limitações relacionadas à reprodução e nutrição, principalmente nas fases jovens. Segundo Crepaldi (2006), a falta de conhecimento preciso sobre o hábito alimentar e as exigências nutricionais nas diferentes fases de crescimento, fazem com que as deficiências nutricionais desses peixes sejam responsáveis por altos índices de mortalidade nos sistemas tradicionais de cultivo o que torna a oferta de alimento vivo essencial para a criação desses animais. Alvarado (2003) tentou o treinamento alimentar com Artêmias para aumentar a taxa de sobrevivência de alevinos, com sucesso limitado devido aos aspectos nutricionais do alimento, que não atenderam totalmente às exigências do surubim. Como na maioria das espécies, os diversos sistemas sensoriais colaboram nas diferentes fases do comportamento alimentar, participando das várias etapas do processo com importância diferente, dependendo das características do meio em que evoluíram. A eletrorrecepção é uma modalidade sensorial encontrada em várias espécies principalmente de peixes, porém alguns mamíferos e anfíbios também apresentam esta característica, sendo ela, geralmente, relacionada com a detecção e captura de presas (BULLOCK et al., 1979; ZAKON, 1988; KRAMER, 1996; PETTIGREW, 1999). No surubim, durante a fase larval, Cestarolli (2005) realizou observações comportamentais que permitem supor que as larvas devam utilizar mais algum mecanismo sensorial (seja ele químico, mecânico ou elétrico) que o sentido da visão para a captura do alimento. Nesse sentido, destaca-se o fato que a eletrorrecepção evoluiu principalmente naquelas espécies que habitam águas turvas ou escuras e possuem hábitos noturnos, em que o uso da visão é menos eficiente (KRAMER, 1996). É elevada a densidade de eletrorreceptores, ao redor de 500 mm² na área próxima da comissura labial de surubins (CESTAROLLI, 2005). Isso pode sugerir que essa modalidade sensorial tenha grande importância principalmente na alimentação dos

estágios de vida iniciais deste animal. Para *Pseudoplatystoma sp.* inexistem estudos que determinem a sensibilidade e a importância biológica da eletrorrecepção, embora alguns estudos como os de (CESTAROLLI, 2005; GIAQUINTO, HOFFMANN, 2010; ASANO, HANYU, 1986), apontem para sua fundamental importância no seu comportamento alimentar. O objetivo do Trabalho foi avaliar o efeito da estimulação elétrica de baixa intensidade na aceitação do alimento inerte pelo surubim.

5.2. Material e métodos

O trabalho foi realizado no laboratório de fisiologia comparada e comportamento animal do Departamento de Fisiologia e Farmacologia da Universidade Federal de Pernambuco. A coleta dos dados foi iniciada em dezembro de 2012. Foram utilizados 42 juvenis de surubim *P. corruscans* com 90 dias de vida adquiridos de piscicultores. Os animais foram divididos em quatro grupos de sete indivíduos para a determinação da melhor frequência e 14 indivíduos divididos em dois grupos para a avaliação do efeito do campo elétrico no impulso alimentar. Os animais foram acondicionados em caixas de PVC com volume de 60 litros, de água previamente tratada e durante o experimento cerca de 40 % da água foi trocada diariamente. A temperatura foi de $26 \pm 0,45$ °C, a aeração foi constante e o pH $6,6 \pm 0,2$ foi mantido com a adição de 40 mL de HCl 1 molar a cada 70 L de água como um pré-tratamento. Esta leve acidificação foi utilizada para reduzir o risco de intoxicação por amônia, cujo valor de concentração foi de $0,69 \pm 0,2$. Também foram coletados os dados de condutividade da água. O monitoramento destes parâmetros foram realizados com a utilização de termômetro analógico e kits “Labcon teste pH tropical” e “Labcon amônia tóxica água doce”, a condutividade da água foi monitorada com auxílio de condutivímetro de bolso modelo CD 203 Phtek. Foi observada a taxa de sobrevivência verificando se havia peixes mortos ou faltando nos tanques diariamente. A alimentação foi ad libitum ofertada uma vez ao dia com uma ração comercial extrusada contendo 36 % de proteína bruta até o início do experimento.

Delineamento experimental

Para a escolha da frequência de campo elétrico a ser utilizada foi realizado um teste piloto no qual foi observado o consumo médio diário e a latência para a alimentação durante um mês, comparando três frequências diferentes 10, 25 e 30 Hz com um grupo controle. Em seguida foram formados dois grupos experimentais, inteiramente casualizados, que ao iniciar o experimento foram submetidos aos seguintes tratamentos: grupo controle, alimentado sem estimulação elétrica, e grupo estimulado, no qual utilizamos um campo elétrico com a frequência de 30 Hz sendo a amplitude de Saída de 100 mV, mas na lamina da água a amplitude do campo foi de 2,5 mV/cm. O formato da onda utilizado foi o dente de serra. O sistema de estimulação foi composto por duas hastes metálicas ligadas por fios condutores à saída de som de um computador que através do software Audacity gerava o sinal na frequência e amplitude desejada. As hastes eram fixadas em um flutuador feito com canos de PVC. Neste também foram fixados eletrodos de referência ligados a um osciloscópio (Tektronix 2225 50 MHz) para confirmação da amplitude e frequência. Ao iniciar o experimento a oferta de alimento foi feita uma vez ao dia, sempre iniciada às 18h 30min, meia hora após, as luzes brancas na sala serem apagadas. Os animais eram estimulados com o campo elétrico durante 15 minutos. Foram mensurados mensalmente os parâmetros: comprimento total, ganho de peso, consumo médio diário e fator de condição.

- Comprimento total (CT) é a medida do focinho a extremidade superior da nadadeira caudal. Esta medição foi realizada uma vez por mês em todos os animais dos grupos controle e 30 Hz com o auxílio de fita métrica;
- Ganho de peso médio (GPM) foi calculado mensalmente utilizando a média do somatório das massas de cada indivíduo que compõe o grupo i , posta na seguinte formula;

$$\mathbf{GPM = PM_f - PM_i}$$

Onde (PM_f) é peso médio final e (PM_i) peso médio inicial.

- Consumo médio diário (CMD) foi expresso em gramas de peso seco consumidas por dia. A ração foi pesada, e foram contados os números de pellets antes de ofertada aos grupos. Assim dividindo o peso da ração pelo número de pellets obtínhamos o peso médio de cada pellet. Após os 15 minutos de estimulação a ração restante no tanque era retirada novamente contada, seca em estufa e ao final pesada. Desta forma foi possível quantificar quanto de alimento foi ofertado e quanto avia sido consumido pelos animais. CMD é dado pela seguinte formula:

$$\text{CMD} = (\text{Pr}_o - \text{Pr}_s) / N$$

Onde Pr_o é o peso da ração ofertada no tanque i , Pr_s é o peso da ração que sobrou no tanque i , e N é o número de indivíduo no tanque i .

- Fator de condição (FC) segundo Jobling et al. (1995), e a relação do peso com o comprimento total dada pela formula:

$$\text{FC} = (\text{peso} \times 100) / (\text{CT})^3$$

- Latência é o tempo em segundos que os animais de um determinado grupo em observação levavam para apresentar o comportamento alimentar completo (captura e ingestão) após a oferta do alimento. Este tempo foi aferido com auxilio de cronometro que foi paralisado quando pelo menos um animal do grupo observado iniciava o comportamento. As observações foram feitas diretamente sem filmagem.

O uso dos animais foi avaliado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco (CEUA-UFPE) processo nº 23076.013376/2013-29, sendo o parecer favorável aos protocolos experimentais realizados.

5.3. Resultados e discussão

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos, temperatura, pH, amônia e condutividade, como também a taxa de sobrevivência encontram-se na tabela 1 e comprovam as boas condições de estocagem e qualidade de água durante o experimento. Estes permaneceram durante todo o período de experimento dentro da faixa aceitável para o cultivo do surubim segundo os trabalhos de Lopes et al. (1996) e Scorvo Filho et al. (2008). Isto possibilita sua replicação em ambiente de campo, com pequenas alterações apenas no sistema de estimulação.

Tabela 1 Parâmetros físico-químicos da água e taxa de sobrevivência no período experimental.

| Parâmetros | Grupos | |
|-------------------------|---------------|---------------|
| | 30 Hz | Controle |
| Temperatura °C | 26,65 ± 0,45 | 26,67 ± 0,43 |
| pH | 6,6 ± 0,2 | 6,6 ± 0,12 |
| Amônia ‰ | 0,84 ± 0,20 | 0,55 ± 0,23 |
| Condutividade mS/cm | 0,571 ± 0,067 | 0,556 ± 0,077 |
| Taxa de sobrevivência % | 100 | 100 |

Valores expressos em média e erro padrão, não há diferença estatística $p > 0,05$ ANOVA-Tukey.

A frequência de melhor desempenho foi a 30 Hz em relação às demais 10 Hz e 25 Hz, cujo resultado está descrito na fig.1. Esta foi significativamente diferente do controle, as médias do CMD dos grupos 30 Hz e controle nesta etapa de identificação da melhor frequência respectivamente foram $5,428 \pm 1,143$ g e $2,571 \pm 1,042$ g com $p < 0,05$.

O surubim é potencialmente estimulado pela frequência de 30 Hz, o que está de acordo com o trabalho de Peters e Buwalda (1972), que descreveram a sensibilidade do também siluriforme *Parasilurus asotus* que foi de 1-30 Hz. Tal frequência parece ser comum aos siluriformes, pelas várias evidências, como os dados obtidos por Hanika e Kramer (2000) em seu estudo com o peixe gato africano *Clarias gariepinus*.

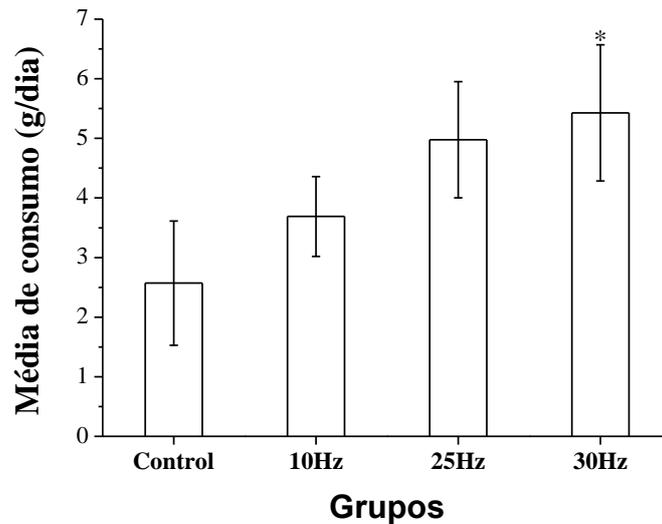


Fig. 1 Teste para escolha da melhor frequência de campo elétrico para a estimulação alimentar do surubim. O grupo 30 Hz apresenta maior consumo médio diário, significativamente diferente do controle as médias são expressas em gramas por dia $p=0,049$ ANOVA-Tukey.

Na fig. 2 observa-se a redução significativa da latência dos animais estimulados em relação ao controle, porém não foi constatada diferença entre os grupos estimulados com diferentes frequências. Os siluriformes, como peixes não eletrogênicos, mas eletrorreceptivos possuem receptores ampulários que têm sensibilidade a campos elétricos de baixa frequência, entre 0,1 – 25 Hz (COLLIN, WHITEHEAD 2004). Esta sensibilidade pode variar entre as espécies. Isso explica por que as frequências de 10, 25 e 30 Hz não diferem em relação à latência, uma vez que são também detectáveis pelos eletrorreceptores ampulários, porém dependendo da espécie estes receptores são mais sensíveis a uma frequência, que a outra, e para surubim *P. corruscans* é a 30 Hz.

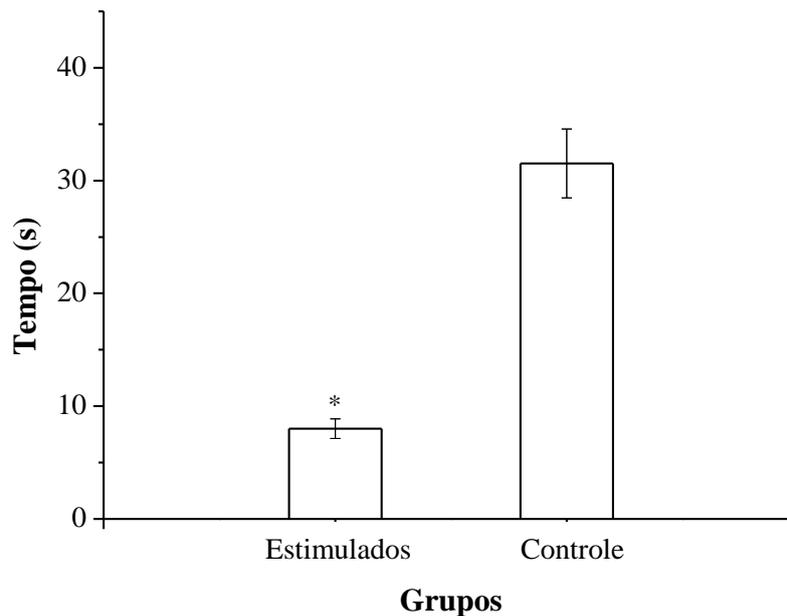


Fig. 2 Latência, tempo em segundo para a exibição do comportamento alimentar dos grupos estimulados e controle, são significativamente diferentes $p < 0,05$ ANOVA-Tukey.

O que ocorre com estes animais é a interpretação do sinal elétrico associado com o odor e visão da ração como de uma possível presa, aumentando seu interesse pelo alimento e assim reduzindo o tempo para o comportamento alimentar. A eletrorrecepção está relacionada nas diversas espécies com a detecção e captura de presas sendo uma modalidade sensorial exibida por predadores (COLLIN, WHITEHEAD 2004).

Deste modo, o comportamento alimentar de um animal como o surubim, que é um predador munido de eletrorrecepção, fica parcialmente prejudicado sem a associação de todos os estímulos dos quais instintivamente ele usa para reconhecer um alimento em potencial. Concordando com o estudo realizado por Asano e Hanyu (1985), que constataram a preferência do bagre japonês *Parasilurus asotus* por cubos de músculos de carpa eletricamente estimulados, em vez deste mesmo alimento, mas sem o estímulo.

A comparação do GPM dos grupos estimulado e controle encontram-se na fig. 3 (A). O grupo estimulado 30 Hz difere significativamente do controle, com as respectivas médias $5,936 \pm 1,365$ g e $2,320 \pm 0,510$ g. Os animais estimulados apresentam aumento na média do CT quando comparados ao controle. E apenas no último mês do experimento este aumento foi estatisticamente significativo. No entanto, já no primeiro mês é possível observar o início do

distanciamento das médias (fig. 3 B), que ao final do experimento foram $20,614 \pm 0,63$ cm e $18,557 \pm 0,61$ cm, 30 Hz e controle respectivamente.

O CMD do grupo 30 Hz foi maior que o do controle a partir do primeiro mês de experimento (fig. 3 C), com as seguintes médias expressas em gramas por dia $2,218 \pm 0,278$ g e $0,852 \pm 0,191$ g no primeiro mês, $3,962 \pm 0,351$ g e $2,625 \pm 0,286$ g no segundo e $4,966 \pm 0,513$ g e $2,863 \pm 0,220$ g no terceiro mês. A diferença entre as médias de cada mês é significativa com $p < 0,05$.

A fraca estimulação proporcionada pela ração inerte a torna pouco atraente exigindo um longo período de treinamento e adaptação a este alimento. O aumento significativo do consumo nos animais estimulados demonstra que a associação de estímulos sensoriais na alimentação destes pode aumentar seu desempenho produtivo, uma vez que este aumento do consumo se refletiu no aumento de ganho de peso e comprimento total em um tempo menor que os animais controle.

O Fator de condição não difere entre os grupos 30 Hz e controle com $p > 0,05$. Este resultado está descrito na fig. 3 (D), que mostra a variação deste parâmetro nos meses de experimento. O fator de condição não demonstra diferença nas condições nutricionais dos grupos 30 Hz e controle, uma vez que não difere significativamente entre os grupos em nem uma dos meses do experimento. Segundo Camara (2011) o fator de condição é um índice das reservas energéticas, que pode influenciar na taxa de crescimento dos animais. Assim podemos assumir que a significativa diferença no comprimento total do grupo 30 Hz em relação ao controle é causada apenas pelo tratamento a ele aplicado.

Considerando as condições de laboratório e o aspecto nutricional da ração utilizada nos nossos experimentos os resultados de ganho de peso, comprimento total e consumo foram bastante favoráveis para a utilização da estimulação elétrica na alimentação do surubim.

Sabendo que em um ambiente menos estressante e com uma ração mais apropriada para a espécie, os parâmetros citados podem apresentar valores ainda mais expressivos.

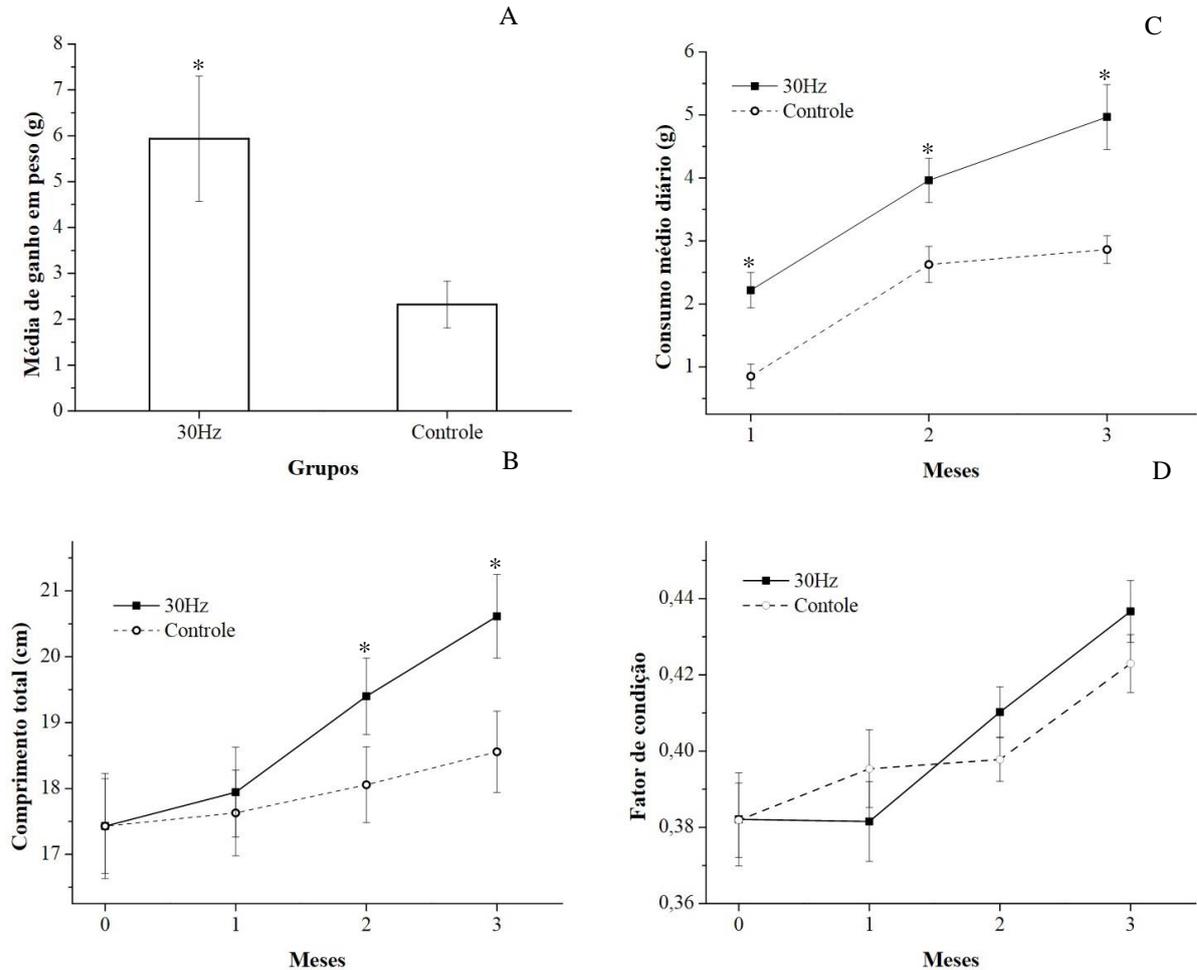


Fig. 3 (A) Ganho de peso médio expresso em gramas. Grupos 30 Hz e controle, com diferença significativa (*) $p < 0,05$; (B) Comprimento total dos grupos 30 Hz e controle ao longo do período de experimento, (0) zero é o comprimento médio inicial dos grupos, diferença significativa apenas no 3º mês com o valor de $p < 0,05$; (C) Média de consumo diário por mês de tratamento, o grupo estimulado com 30 Hz teve o CMD, maior que o controle já no primeiro mês sendo o $p < 0,05$; (D) Fator de Condição dos grupos 30 Hz e controle, ao longo dos três meses de experimento. (0) = valores iniciais, não há diferença significativa entre as médias nos meses $p > 0,05$, todos os teste foram realizados com o Origin 8, ANOVA-Tukey.

Também não podemos negligenciar o fator condicionante do estímulo elétrico, como já foi citado no trabalho de Peters e Wijland (1974), que é uma capacidade dos bagres, decorrente da detecção de campos elétricos. A oferta de alimento juntamente com um sinal, não importando o tipo, pode condicionar um animal a uma resposta rápida, que em nosso caso seria a alimentação. No entanto, o condicionamento por si só não explica o aumento no consumo pelo grupo 30 Hz, que possivelmente está associado a outros efeitos fisiológicos desta frequência.

5.4. Conclusão

A frequência de 30 Hz demonstrou ser a mais adequada para a estimulação do surubim, devido aos bons resultados no consumo, ganho de peso e comprimento total.

Esta tecnologia pode ser aplicada na piscicultura do surubim com possíveis melhorias na produtividade.

A utilização da eletroestimulação no cultivo do surubim pode reduzir os custos causados pelo alto índice de mortalidade dos alevinos, devido a não aceitação da ração, uma vez que a eletroestimulação torna a ração inerte mais atraente para estes animais.

Ainda são necessários estudos mais aprofundados das alterações fisiologias que cada frequência proporciona, para o entendimento de como esta estimulação afeta a saciedade dos animais aumentando seu consumo.

5.5. Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro.

5.6. References

- ALVARADO, C.E.G. (2003) Treinamento alimentar do pintado, *Pseudoplatystoma curuscans*, (Agassiz, 1829). Sobrevivência, crescimento e aspectos econômicos. Dissertation submitted to obtain the title of Masters in Aquaculture, State University Paulista, Jaboticabal, São Paulo 72 p.
- ASANO, M. & HANYU, I. (1986) Biological significance of electroreception for a Japanese catfish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 52(5): 795-800.
- BULLOCK, T.H., FERNANDES-SOUZA, N., GRAF, W., HELBIGENBERG, W., LANGNER, G., MEYER, D.L., PIMENTEL-SOUZA, F., SCHEICH, H. & VIANCOUR, T.A. (1979) Aspectos do uso da descarga do órgão elétrico e eletrorrecepção de Gymnotoidei e outros peixes na Amazônia. *Acta Amazônica*, 9(3): 549-572.
- BURGESS, W.E. (1989) An atlas of freshwater and marine catfishes: a preliminary survey of the Siluriformes. TFH Publications, Neptune City, New Jersey, 784 p.
- CAMARA, E.M., CARAMASCHI, E.P. & PETRY, A.C. (2011) Fator de condição: bases conceituais, aplicações e perspectivas de uso em pesquisas ecológicas com peixes. *Oecologia Australis*, 15(2): 249-274.
- CESTAROLLI, M.A. (2005) Larvicultura do pintado *Pseudoplatystoma curuscans* (Agassiz, 1829): aspectos da alimentação inicial e do desenvolvimento de estruturas sensoriais. Thesis submitted to obtaining title of Doctor in Aquicultura, State University Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 110 p.
- COELHO, S.R.C. (2005) Produção intensiva de surubins híbridos em gaiolas: Estudo de caso. Thesis presented to obtain the title of doctor of agronomy, Piracicaba, São Paulo, 82 p.
- COLLIN, S.P. & WHITEHEAD, D. (2004) The functional roles of passive electroreception in non-electric fishes. *Animal Biology*, 54(1): 1-25
- CREPALDI, D.V., FARIAS, P.M.C., TEIXEIRA, E.A., RIBEIRO, L.P. et al. (2006) O surubim na aquicultura do Brasil. *Revista brasileira de reprodução animal*, 30(3/4): 150-158.
- FREITAS, R., ZHANG, G., ALBERT, J.S., EVANS, D.H. & COHN, M.J. (2006) Developmental origin of shark electrosensory organs. *Evolution & Development* 8(1): 74-80.
- GIAQUINTO, P.C.; HOFFMANN, A. Role of olfaction and vision cues in feeding behavior and alarm reaction in the catfish pintado, *Pseudoplatystoma corruscans*. *Japan Ethological Society*, (28): 21-27, 2010.
- HANIKA, S. & KRAMER, B. (2000) Electrosensory prey detection in the African sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (Clariidae), of a weakly electric mormyrid fish, the bulldog (Marcusenius macrolepidotus). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 48, 218-228.

- JOBLING, M., MELOY, O.H., SANTOS, J. & CHRISTIANSEN, B. (1995) The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history. *Aquaculture International*, 2, 75-90.
- KAJIURA, S.M. & HOLLAND, K.N. (2002) Electroreception in juvenile scalloped hammerhead and sandbar sharks. *The Journal of Experimental Biology*, 205, 3609-3621.
- KRAMER, B. (1996) Electroreception and Communication in Fishes. In *Progress in Zoology*, ed. Werner Rathmayer, 42, 1-119.
- LOPES, M.C., FREIRE, R.A.B., VICENSOTTO, J.R.M. & SENHORINI, J.A. (1996) Alimentação de larvas de surubim pintado, *Pseudoplatystoma coruscans* (Agassiz, 1829) em laboratório, na primeira semana de vida. *Boletim técnico CEPTA, Pirassununga*, 9, 11-29.
- MOURIÑO, J.L.P., do NASCIMENTO VIEIRA, F., JATOBÁ, A.B., da SILVA, B.C., JESUS, G.F.A., SEIFFERT, W.Q. & MARTINZ, M.L. (2012) Effect of dietary supplementation of inulin and *W. cibaria* on haemato-immunological parameters of hybrid surubim (*Pseudoplatystoma* sp). *Aquaculture Nutrition*, 18, 73-80.
- PETERS, R.C. & BUWALDA, R.J.A. (1972) Frequency response of the electroreceptors (Small pit organs) of the catfish, *Ictalurus nebulosus* LeS. *J. Comp. Physiol.*, 79, 29-38.
- PETERS, R.C. & VAN WIJLAND, F. (1974) Electro-orientation in the passive electric catfish *Ictalurus nebulosus* LeS. *J. Comp. Physiol.*, 92, 273-280.
- PETTIGREW, J.D. (1999) Electroreception in monotremes. *The Journal of Experimental Biology*, 202, 1447-1454.
- ROMAGOSA, E., PAIVA, P., ANDRADE - TALMELLI, E.F. & GODINHO, H.M. (2003) Biologia reprodutiva de fêmeas de cachara, *Pseudoplatystoma fasciatum* (Teleostei, Siluriformes, Pimelodidae), mantidas em cativeiro. *Boletim do Instituto de Pesca, Sao Paulo*, 29(2): 151-159.
- SCORVO-FILHO, J.D., ROMAGOSA, E., AYROZA, L.M.S. & FRASCA-SCORVO, C.M.D. (2008) Desempenho produtivo de *Pseudoplatystoma corruscans* pintado (Spix & Agassiz, 1829), sob diferentes densidades de estocagem em dois sistemas de criação: semi-intensivo e intensivo. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 34(2): 181-188.
- ZAKON, H.H. (1988) The electroreceptors: diversity in structure and function. In *Sensory Biology of Aquatic Animals* (ed. J. Atema, R.R. Fay, A.N. Popper & W.N. Tavolga), Berlin: Springer -Verlag, 813 -850.

6. PATENTE: ESTIMULADOR ELÉTRICO PARA ALIMENTAÇÃO E ATRAÇÃO DE PEIXES E SEU PROCESSO DE UTILIZAÇÃO

DINE 87 - Estimulador elétrico para alimentação e atração de peixes



PROBLEMA

Para o melhor desenvolvimento da piscicultura de espécies carnívoras, limitações relacionadas à reprodução (larvicultura e alevinagem) e à nutrição precisam ser superadas. Para tanto, desenvolvimentos tecnológicos que minimizem a mortalidade melhorando a aceitação da ração padrão ou amenizando o estresse causado por essa substituição alimentar são de grande relevância.

SOLUÇÃO

A presente invenção propõe uma eletroestimulação com campos de baixa amplitude e frequências variadas, como estímulo alimentar, aumentando o interesse dos animais pela ração inerte. Tal estimulação simula a existência de presas vivas, por ter similaridade com os campos bioelétricos gerados por seres vivos no desempenho de suas funções fisiológicas normais. A maior vantagem invenção é que pode ser aplicada em várias espécies tanto de peixes como de crustáceos em regime de cultivo, pois sabe-se que a eletrorecepção é uma característica bastante difundida nos grupos de animais aquáticos, ocorrendo também em outras espécies cultivadas.

APLICAÇÃO

- Piscicultura
- Pesca Esportiva
- Pesca Profissional

INVENTORES

Valdir Luna Da Silva
Luciano Clemente Da Silva
Suzan Diriz Santos
Ranilson de Souza Bezerra

Universidade Federal de Pernambuco



www.ufpe.br/dine

6.1. Campo da invenção

A presente invenção diz respeito à utilização de campos elétricos de amplo espectro de frequência e baixa amplitude, de forma estimular alimentação bem como atrair espécies aquáticas da fauna marinha e continental em regimes de cultivo ou na pesca esportiva e profissional.

6.2. Descrição do estado da técnica

A eletrorrecepção é uma característica bastante difundida entre vários grupos de peixes e pode variar de frequência dependendo da espécie (BULLOCK et al., 1979; ZAKON, 1988; KRAMER, 1996; PETTIGREW, 1999). Até o momento são conhecidos dois tipos de eletrorrecepção: a passiva, em que o animal detecta campos elétricos produzidos por outros animais (como o campo elétrico produzido pelo funcionamento branquial) e a ativa, que é exclusiva dos peixes eletrogênicos que produz um campo elétrico e detectam as alterações provocadas nesse campo por outros organismos ou objetos (KRAMER, 1996). Os eletrorreceptores conhecidos são de dois tipos: os ampulários, utilizados para a eletrorrecepção passiva, e os tuberosos, utilizados para a eletrorrecepção ativa. Os eletrorreceptores ampulários exibem diferenças entre os peixes marinhos e os de água doce. Uma das diferenças é em relação à sensibilidade, que devido à própria condutividade do meio é maior nos peixes marinhos, que podem captar campos elétricos de até 5 nV/cm enquanto os de água doce são sensíveis a campos até 1 μ V/cm (ZAKON, 1988). O eletrorreceptor provavelmente mais estudado é a ampola de Lorenzini, encontrada nos elasmobrânquios. Nestes animais este sistema sensorial é utilizado para detectar presas enterradas no sedimento e na navegação através do campo geomagnético da terra (KAJIURA, HOLLAND, 2002; FREITAS et. al., 2006).

Em peixes eletrogênicos das ordens Gymnotiformes e Mormyriiformes, a eletrorrecepção, está associada principalmente com a comunicação intraespecífica e em relações de dominância, reprodução e disputas territoriais, mas também na predação e localização ambiental. Neste caso os eletrorreceptores tuberosos têm grande importância por

estarem associados a este tipo de eletorrecepção (BELL, RUSSELL, 1978; HAGEDORN, ZELICK, 1989; KRAMER, 1996). Vários estudos sobre a estrutura e função dos eletorreceptores evidenciam mudanças durante o período de desenvolvimento larval e na maturação sexual. Isso sugere a importância desse sistema sensorial em diversas etapas do ciclo de vida destes animais (HOPKINS, 1988). No Brasil as espécies do gênero *Pseudoplatystoma* são as mais importantes do ponto de vista econômico (KUBITZA et al. 1998). Conhecidos como surubins, ocorrem nas principais bacias hidrográficas da América do sul e sua distribuição inclui os rios São Francisco, Paraná, Paraguai, Amazonas e Parnaíba e seus afluentes (BURGESS, 1989; BENETIS, 2008). Nos siluriformes os eletorreceptores são ajustados para captar campos elétricos que variam em baixas frequências, em torno de 25 Hz (COLLIN, WHITEHEAD, 2004). Peters e Buwalda (1972) encontraram uma faixa de maior sensibilidade variando de 6 a 12 Hz no siluriforme *Ictalurus nebulosus*. Em outro siluriforme, *Clarias gariepinus*, demonstrou-se que os mesmos são capazes de detectar campos elétricos tão pequenos quanto 13 μ V com frequências variando até 30 Hz. Nesses animais o formato da onda não influenciou, sendo eles capazes de detectar ondas senoidais e quadradas (HANIKA, KRAMER, 2000).

Neste contexto existem patentes voltadas para estimular alimentação de peixes, crustáceos e moluscos baseado em uma composição alimentar (US005139791 A), alimentar automaticamente cultivos de peixes ou camarões (PI 06062148 A; PI 04024915 A; PI 04021711 A; PI 03012425 B1; UM 89029097 U2), impedir a presença de elasmobrânquios mais especificamente tubarões por meio de um equipamento que emite de 20 a 250 volts para proteger fazendas marinhas de cultivo de peixes, áreas de banho ou para diminuir o volume de fauna acompanhante captados por apetrechos de pesca (US 2010/0071631 A1), afastar peixes por meio de uma cerca elétricas que emite ondas elétricas e sonoras entre 50Hz a 2000Hz (WO 9300003), repelir peixes, mais especificamente enguias utilizando ondas elétricas de baixa frequência entre 6 a 25 volts (US006134824 A), anestésiar peixes com aplicação 0.5 a 5 volts (US 0107986 A1), alimentar peixes ou crustáceos por meio de um sistema mecânico (PI 06046339), atrair peixes emitindo ondas elétricas e sonoras por meio de sistemas diversos (US 20049910958 A1; US 007225583 B1; US 006098331 A; US 4951410, US 20020139034 A1). Porém, ainda não foi proposto utilização de campos elétricos paralelos de baixa intensidade e frequência variada como estímulo associado à oferta do alimento com o objetivo de aumentar a procura pelo alimento de espécies eletorreceptivas em sistemas de cultivo para aquicultura.

6.3. Apresentação dos problemas existentes

A piscicultura é uma atividade que vem crescendo no Brasil nos últimos anos, no entanto ainda há lacunas a serem preenchidas em relação ao manejo de algumas espécies cultivadas. Um exemplo são as espécies carnívoras da ordem siluriformes, como as do gênero *Pseudoplatystoma* (Surubim) cuja cultura enfrenta significantes limitações, sendo as principais relacionadas à reprodução (larvicultura e alevinagem) e à nutrição, principalmente nestes estágios da vida (ENOUE et. al., 2009). O surubim possui grande importância econômica e é considerado o peixe de água doce de maior valor no mercado devido à qualidade de sua carne, de sabor suave e livre de espinhos intramusculares. Isso, aliado à redução dos estoques naturais, vem incentivando seu cultivo, (KUBITZA et al. 1998). Devido ao hábito alimentar piscívoro, se faz necessário na fase de alevinagem o treinamento para a alimentação com a ração padrão. Os procedimentos realizados neste período aumentam os custos da produção como também a mortalidade dos alevinos. Enoue et. al. (2009) relatam em seu estudo uma sobrevivência de 30% a 40%, enquanto Alvarado (2003) estudando o condicionamento alimentar em alevinos de 15 a 18 dias de vida, constatou que entre 5 e 15 dias após o início do treinamento já é possível reduzir gradualmente os níveis de alimento vivo ofertado com a ração obtendo-se uma sobrevivência de 12% a 18%. Neste sentido, estudos que levem ao desenvolvimento tecnológico que minimize a mortalidade melhorando a aceitação da ração padrão ou amenize o estresse causado por essa substituição alimentar e, obviamente, reduza os custos na produção do surubim, são de grande relevância. A aquicultura de outras espécies aquáticas também enfrenta dificuldades semelhantes como o pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) e o camarão pitu (*Macrobrachium sp.*).

6.4. Apresentação da solução em linhas gerais

A presente invenção propõe uma eletroestimulação com campos de baixa amplitude e frequências variadas, como estímulo alimentar, aumentando o interesse dos animais pela ração inerte. Tal estimulação simula a existência de presas vivas, por ter similaridade com os campos bioelétricos gerados por seres vivos no desempenho de suas funções fisiológicas

normais. Com esta tecnologia existe menor estresse na substituição alimentar e o condicionamento mais rápido destes animais, como também auxilia o comportamento alimentar dos surubins em cativeiro. A maior vantagem da invenção é que pode ser aplicada em varias outras espécies tanto de peixes como de crustáceos em regime de cultivo, pois sabemos que a eletorrecepção é uma característica bastante difundida nos grupos de animais aquáticos, ocorrendo também em outras espécies cultivadas.

É possível também a aplicação da presente invenção como atrativo na pesca esportiva e profissional sem os problemas causados na pesca elétrica, que é diferente por utilizar correntes elétricas de alta tensão para atordoar e, em muitos casos, matar os animais sem especificidade causando danos às outras espécies aquáticas.

6.5. Descrição detalhada do invento

O invento trata da utilização de campos elétricos de baixa amplitude, entre 0,1 mV a 100 mV, e frequências que variam ente 0,1 e 30Hz, para estimular a alimentação com ração padrão de espécies cultivadas em diferentes regimes de cultivo e também como atrativo na pesca esportiva e comercial. O campo elétrico é gerado por circuito elétrico alimentado por baterias ou a luz solar e emitido por eletrodos metálicos inoxidáveis, em uma região do corpo d'água. A amplitude do campo, bem como o formato da onda gerada, depende da aplicação e da espécie alvo. Algumas espécies preferem voltagem contínua enquanto outras são mais estimuladas por campos oscilantes. Para qualquer dos casos a DDP pode ser produzida em circuitos de baixa potência e com pequeno consumo de energia, tendo em vista a alta sensibilidade dessas espécies à atividade elétrica.

6.6. Exemplo comparativo

O estímulo elétrico foi aplicado na água pouco antes de ser ofertado o alimento, com frequência e intensidade adequada à espécie a ser estimulada. Para *Pseudoplatystoma corruscans* a intensidade é de 100mV para uma condutividade da água de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a frequência entre 0,1 e 30Hz. Nestas circunstâncias houve um maior interesse dos animais pelo alimento, com um aumento de 15% no consumo da ração quando comparado com o consumo de animais não estimulados.

6.7. Reivindicações

1. A presente invenção é caracterizada por um sistema que utiliza campos elétricos de baixa intensidade e frequências variadas, como estímulo alimentar de espécies da fauna, marinha ou continental, cultivadas nos diversos regimes de cultivo.
2. Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar campo elétrico paralelo à linha d'água.
3. Sistema de acordo com a reivindicação 1 e 2, caracterizado por utilizar o estímulo associado à oferta do alimento com o objetivo de aumentar a procura pelo alimento de espécies eletorreceptivas em sistemas de cultivo na aquicultura.
4. Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar campos elétricos de baixa intensidade e frequências variadas, gerados por circuito elétrico alimentado por baterias ou a luz solar, como estímulo alimentar de espécies cultivadas e como atrativo nas pescas esportiva e profissional.
5. Sistema de acordo com a reivindicação 1 a 4, caracterizado por utilizar campos elétricos de baixa intensidade e frequências variadas, associados às iscas tradicionais como atrativos nas pescas esportiva e profissional.

6.8. Resumo

A invenção trata-se da utilização de campos elétricos de baixa intensidade e frequências variadas para estimular o comportamento alimentar de espécies da fauna marinha ou continental em diferentes regimes de cultivo, como também da utilização destes campos elétricos como atrativo nas pescas esportiva e profissional associada ou não às iscas convencionais.

6.9. Referência bibliográfica

ALVARADO, C.E.G. **Treinamento alimentar do pintado, *Pseudoplatystoma curuscans*, (Agassiz, 1829): Sobrevivência, crescimento e aspectos econômicos.** 2003. 72 p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.

BELL, C.C.; RUSSELL, C.J. Effect of electric organ discharge on ampullary receptors in a mormyrid. **Brain Research**, v. 145, p. 85-96, 1978.

BENITES, C. **Caracterização genética do pintado *Pseudoplatystoma corruscans*, (Spix & Agassiz, 1829) (Siluriformes: Pimelodidae) da Bacia Paraná-Paraguai, por marcadores moleculares do tipo microssatélite.** 2008. 65 p. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.

BULLOCK, T.H. et al. Aspectos do uso da descarga do órgão elétrico e eletorrecepção nos Gymnotoidei e outros peixes Amazônicos. **Acta Amazônica**, v. 9, n. 3, p. 549-572, 1979.

BURGESS, W.E. An Atlas of freshwater and marine catfishes: a preliminary survey of the Siluriformes. **T. F. H Publications**, Neptune City, p. 784, 1989.

COLLIN, S.P.; WHITEHEAD, D. The functional roles of passive electroreception in non-electric fishes. **Animal Biology**, v. 54, n. 1, p. 1-25, 2004.

ENOUE, L.A.K.A. et al. Princípios básicos para produção de alevinos de surubins (pintado e cachara). **Documento Embrapa 99**, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, Mato grosso do Sul, 2009.

FREITAS, R. et al. Developmental origin of shark electrosensory organs. **Evolution & Development**, v. 8, n. 1, p. 74-80, 2006.

HAGEDORN, M.; ZELICK, R. Relative dominance among males is expressed in the electric organ discharge characteristics of a weakly electric fish. **Animal Behavior**, v. 38, p. 520-525, 1989.

HANIKA, S.; KRAMER, B. Electrosensory prey detection in the african sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (Clariidae), of a weakly electric mormyrid fish, the bulldog (*Marcusenius macrolepidotus*). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, n. 48, p. 218–228, 2000.

HOPKINS, C.D. Neuroethology of electric communication. **Annual Reviews Neuroscience**, v. 11, p. 497-535, 1988.

KAJIURA, S.M.; HOLLAND, K.N. Electroreception in juvenile scalloped hammerhead and sandbar sharks. **The Journal of Experimental Biology**, v. 205, p. 3609-3621, 2002.

KRAMER, B. Electroreception and Communication in Fishes. In: Kramer, B. **Progress in Zoology**. 42. ed. Jena, Gustav Fischer Verlag, 1996. p. 119.

KUBITZA, F.; CAMPOS, J. L.; BRUM, J. A. Produção intensiva de surubins no Projeto Pacu. Ltda. e Água e peixe Ltda. In: **Anais da Aquicultura**, v. 1, Recife, Pernambuco, p. 393-407, 1998.

PETERS, R.C.; BUWALDA, R.J.A. Frequency response of the electroreceptors of the cat fish, *Ictalurus nebulosus* LeS. **Journal of Comparative Physiology**, n. 79, p. 29-38, 1972.

PETTIGREW, J.D. Electroreception in monotremes. **The Journal of Experimental Biology**, v. 202, p. 1447-1454, 1999.

PI 0606214-8 A. Alimentador automático para pós-larvas, alevinos e outros organismos aquáticos, 2008.

PI 0402491-5 A. Distribuição automática de ração com prato giratório para alimentação de peixes, 2006.

PI 04021711 A. Alimentador automático de ração para camarão, 2006.

PI 03012425 B1. Comedouro para viveiro de camarões, 2012.

PI 06046339. Disposição construtiva em alimentador para animais, 2008.

UM 89029097 U2. Alimentador flutuante para piscicultura, 2011.

US 0107986 A1. Systems and methods for the electric field-controlled anesthetizing of fish, 2010.

US 2010/0071631 A1. Electronic shark deterrent, 2010.

US005139791 A. Feeding stimulators for fishes and shellfishes, and feed, 1992.

US006134824 A. Use of electric fields to direct fish movement, 2000.

US 20049910958 A1. Method and electronic acoustic fish attractor, 2004.

US 007225583 B1. Fish attractor. 2007.

US 006098331 A. Sound and light emitting fish lure and method of attracting fish, 2000.

US 4951410. Electronic fish attractor with acoustic sounder, 1990.

US 20020139034 A1. Electronic fish attractor, 2002.

WO 9300003. Infra-acoustic/electric fish fence, 1993.

ZAKON, H.H. The electroreceptors: diversity in structure and function. In: **Sensory Biology of Aquatic Animals**. Atema, J.; Fay, R. R.; Popper, A. N.; Tavolga, W. N. (Ed.). Berlin: Springer-Verlag, p. 813-850, 1988.

7. CONCLUSÕES

A utilização de campos elétricos para estimulação alimentar de surubim demonstrou ser um método bastante promissor para minimizar os custos de produção desta espécie, principalmente nas fases iniciais do ciclo produtivo, larvicultura e alevinagem.

Nosso trabalho provê subsídios para novas pesquisas, como também lacunas a serem preenchidas futuramente. É pertinente afirmar que outras espécies, também cultivadas, ou com pouca viabilidade no cultivo por motivos semelhantes ao surubim, possuam características que permitam a utilização deste método tornando ele interessante para a indústria da piscicultura.