Estresse em peixes

Stress in fishes

Luciene Correa *Lima*[1], Lincoln Pimentel *Ribeiro*[2] , Rômulo Cerqueira *Leite*[3], Daniela Chemim *Melo*[4]

[1,3]Departamento de Medicina Veterinária Preventiva.
[2,4]Departamento de Zootecnia.
Escola de Veterinária da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.
Correspondência: lucolima@netscape.net

Resumo

A resposta ao estresse é um mecanismo que permite ao peixe preservar sua saúde frente à ameaça de estressores. Dependendo da severidade do estressor, o mecanismo de resposta pode se tornar disfuncional e impactar negativamente a fisiologia do animal. Cortisol plasmático tem papel preponderante na inibição do desempenho reprodutivo de peixes desencadeado por estresse. O conhecimento das mudanças fisiológicas causadas por estresse é importante para a elaboração de programas reprodutivos e de manejo em aquacultura.

Palavras-chave: aquacultura, cortisol, estresse, peixes, reprodução.

Abstract

The response to stress is an adaptive mechanism that allows the fish to cope with stressors in order to maintain its homeostatic state. Severe stressors may compromise response mechanisms and can become detrimental to the fish's health. Circulating cortisol plays a major role in the stress capacity to inhibit reproductive performance of fish. Understanding the factors that affect physiological changes caused by stress in fishes is important for designing of effective monitoring programs by aquaculturists.

***Keywords**: aquaculture, cortisol, stress response, reproduction.*

Introdução

Devido ao seu íntimo contato com o ambiente aquático e à sua condição de animal pecilotérmico, peixes enfrentam constantes desafios, os quais vão desde aspectos físico-químicos da água até conflitos de animais dominantes dentro do cardume ou da população (Barton, 1988; Adams, 1990; Wedemeyer, 1996). Sob condições de aquacultura, os desafios naturais se somam àqueles impostos pela atividade, como, por exemplo, práticas de manejo, transporte, tratamentos e altas densidades de estocagem. Desse modo, os animais precisam encontrar meios de lidar com os desafios a fim de confrontá-los e de superá-los, para garantir sua sobrevivência. O somatório das mudanças fisiológicas desencadeadas quando o peixe reage a desafios químicos, físicos e biológicos mais a tentativa de compensação são comumente referidos como respostas ao estresse (Wedemeyer *et al*., 1990).

Segundo Wendeelar-Bonga (1997), o estresse pode ser definido como uma condição em que o equilíbrio dinâmico do organismo, ou homeostase, é ameaçado ou perturbado em decorrência da ação de estímulos intrínsecos denominados estressores. A ação dos estressores é dupla: eles produzem efeitos que ameaçam ou perturbam o equilíbrio homeostático e também provocam um conjunto de respostas comportamentais e fisiológicas como ação compensatória e/ou adaptativa, habilitando o animal para superar as ameaças. Se um animal está submetido a estresse intenso e constante, a resposta fisiológica pode perder seu valor adaptativo e tornar-se disfuncional, acarretando danos permanentes à sua saúde e bem-estar (Carmichael, 1984). O aspecto central da adaptação ao estresse é a realocação de energia para longe de atividades de alta demanda energética, como crescimento e reprodução, e em direção a atividades que requerem intensificação para restaurar a homeostase, tais como respiração, locomoção, balanço hidromineral e reparação de tecidos. Tal dinâmica pode reduzir consideravelmente a capacidade de desempenho do peixe tanto durante a fase de reestabelecimento frente a um estresse agudo quanto no estresse crônico (Schreck, 1981; Schreck, 1990; Kebus *et al*., 1992; Pankhursk e Kraak, 1997; Mommsen *et al*., 1999).

Tipos de resposta ao estresse

Para uma resposta integrada ao estresse em peixes, é comum fazer-se distinção entre resposta primária, secundária e terciária (Pickering, 1981; Wedemeyer *et al*., 1990; Pickering e Pottinger, 1995; Barton, 2002). A resposta primária compreende a ativação dos centros cerebrais, resultando em massiva liberação de

Recebido: 4 de outubro de 2006
Aprovado para publicação: 11 de maio de 2007

catecolaminas e corticosteróides, enquanto a resposta secundária é usualmente definida como a canalização das ações e dos efeitos imediatos desses hormônios em nível sangüíneo e de tecidos, incluindo o aumento dos batimentos cardíacos e da absorção de oxigênio, e a mobilização de substratos de energia e, ainda, a perturbação do balanço hidromineral. A resposta terciária manifesta-se em nível de população traduzindo-se em inibição do crescimento, da reprodução e da resposta imune. A limitação da capacidade do animal de tolerar estressores subseqüentes ou adicionais também é atribuída a uma manifestação da resposta terciária.

Diversas pesquisas têm demonstrado a capacidade do estresse em inibir o desempenho reprodutivo de peixes (Small, 2004). Quando expostos a situações estressantes severas ou de longa duração, os peixes têm seus processos reprodutivos perturbados devido à depressão da glândula pituitária e de níveis plasmáticos de gonadotropinas (Carragher *et al*., 1989), ao decréscimo de níveis de hormônios esteróides (Pickering *et al*., 1987) e à redução do tamanho dos ovos e da qualidade das larvas (Campbell *et al*., 1992, 1994). O estresse de manejo pode afetar o período normal de reprodução de algumas espécies como a truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*, adiantando ou atrasando seu processo reprodutivo. A tilápia *Oreochromis niloticus*, dependendo do estágio de maturação gonadal, cessa completamente sua reprodução.

Em todos os grupos de vertebrados, as catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) são liberadas na circulação sob condições que requerem um incremento no transporte de oxigênio do sangue e a mobilização de substratos energéticos (Wendeelar Bonga, 1997). As células cromafins nos peixes são o órgão homólogo à medula adrenal dos mamíferos e são a principal fonte das catecolaminas circulantes. Tais células ocorrem espalhadas ou em pequenos ajuntamentos na porção cranial do rim. Ao contrário de mamíferos, em que uma quantidade significativa de catecolaminas circulantes, em particular de noradrenalinas, advém de uma supersecreção de nervos simpáticos, esse tipo de secreção é restrito em peixes (Randal e Perry, 1992).

A resposta ao estresse em peixes inclui uma considerável taxa de absorção de oxigênio pelas brânquias, em função do aumento da taxa de ventilação, da estimulação do fluxo branquial e da elevada capacidade de difusão do oxigênio. A maior parte desses efeitos é causada pelas catecolaminas circulantes agindo por meio de mecanismos beta adrenérgicos (Randal e Perry, 1992). A hiperglicemia relacionada ao estresse e relatada para vários teleósteos (Barton e Iwama, 1991) é também - e principalmente - mediada pelos efeitos das catecolaminas e da liberação de glicose hepática, o principal carboidrato reserva do peixe. Há, ainda, evidências para o envolvimento de catecolaminas na mobilização de ácidos graxos livres, que são importantes fontes de energia para o peixe (Van der Boon *et al*., 1991; Pickering e Pottinger, 1995).

Ações do cortisol

O cortisol plasmático é o indicador de estresse mais largamente utilizado em peixes, qualquer que seja o seu estágio de desenvolvimento (Weendelar Bonga, 1997). A elevação do cortisol induzido pela captura com rede pode ser mensurada em trutas arco-íris *O. mykiss* com apenas duas semanas pós-eclosão (Barry *et al*., 1995). Brânquias, intestino e fígado são alvos importantes para o cortisol, os quais refletem as duas maiores ações desse hormônio, isto é, o controle do balanço hidromineral e do metabolismo energético. Assim, o cortisol em peixes combina ações comparáveis àquelas da aldosterona e de glicocorticóides em vertebrados terrestres. Outras ações do cortisol incluem redução na taxa de crescimento e supressão das funções imune e reprodutiva (Weendelar-Bonga, 1997). A administração de cortisol em dietas de bagre-de-canal *Ictalurus punctatus* e de truta arco-íris mostrou-se capaz de promover alterações na sua fisiologia, reduzindo tanto o crescimento somático quanto o crescimento hepático (Davis *et al*., 2003).

Estresse usualmente é reportado como causador de efeitos adversos no desempenho reprodutivo de peixes por meio de alterações na fecundidade, tamanho dos ovos e desenvolvimento larval. Captura, confinamento e estresse de manejo inibem ovulação em snook *Centropomus undecimalis* e aumentam atresia em gurnard vermelho *Cheildonichthy kumer* (Small, 2004). Embora a maioria dos trabalhos disponíveis na literatura sugira que estresse fisiológico negativamente afeta o processo reprodutivo de teleósteos por meio da função endócrina modificada (Pankhurst e Van der Kraak, 2000), a correlação entre estresse, cortisol e sucesso reprodutivo ainda não está suficientemente clara. A associação entre estresse, elevação de cortisol plasmático e concomitante redução de testosterona plasmática e de 17β-estradiol (E2) em truta marrom *Salmo trutta*, snapper *Pagrus auratus*, junto à evidência de que cortisol exógeno produz efeitos inibitórios em salmonídeos, tilápia *Oreochromis* spp e snapper, conduziu à hipótese de que o efeito do estresse na reprodução de peixes seja mediado pela ação do cortisol plasmático na gônada. Na tentativa de caracterizar a ação do cortisol plasmático na esteroidogênese de truta arco-íris, Pankhurst e Van der Kraak (2000) demonstraram a ausência de efeito de concentrações de cortisol no E2 ou na gonadotropina maturacional (hormônio do crescimento-GH). Por outro lado, observaram o declínio gradual da testosterona plasmática ao longo do tempo. Desses resultados, os pesquisadores concluíram que o potencial efeito inibitório do cortisol na reprodução não envolve a inibição da secreção de GH, mas provavelmente atue no nível da transdução de seu sinal.

Perfil de resposta do cortisol plasmatico

Concentrações de cortisol plasmático em diferentes espécies de peixes normalmente se elevam alguns

minutos após a exposição a um estressor agudo moderado, atingem um pico e retornam a valores basais dentro de, aproximadamente, 6 horas (Pickering e Pottinger, 1989). Tipos diversos de estressores, tais como exposição brusca a metais pesados, rápidas mudanças de temperatura, manejo e confronto com predadores, podem ser classificados como estressores agudos, os quais induzem a uma curva de cortisol plasmático similar (Donaldson, 1981; Barton e Iwama, 1991; Brown, 1993). Quando o estressor é crônico, concentrações de cortisol podem permanecer elevadas, embora bem abaixo dos níveis de pico (Wendeelar-Bonga, 1997). A resposta de juvenis de surubim *Pseudoplatystoma* spp. a estressores agudos é semelhante à de alguns teleósteos, cujo pico de cortisol é atingido em 30 min após o desafio (Barry *et al*., 1993; Head e Malison, 2000). O que é notável sobre a resposta fisiológica do surubim é que seu retorno a concentrações de repouso ocorre dentro de apenas 3 horas (Lima *et al.*, 2006). Essa velocidade de retorno do cortisol sugere que o surubim apresenta boa tolerância ao estresse, visto que uma rápida resposta de cortisol tem sido associada a animais mais resistentes ao estresse (Fevolden et al., 2002).

O perfil de alterações do cortisol circulante pode ser tanto discreto quanto exorbitante. Assim, concentrações basais médias de 5ng/mL de cortisol em alguns salmonídeos podem elevar-se de 10 a 100 vezes após uma exposição aguda. Em contraste, concentrações basais de aproximadamente 50ng/mL têm sido reportadas para o mesmo grupo de peixes, valores esses que podem ser explicados pela divergência na especificidade dos métodos de análise, pelas diferentes condições de criação dos peixes, por procedimentos de captura e mesmo por fatores naturais (Barton e Iwama, 1991). Concentrações basais de cortisol em machos e fêmeas do bagre jundiá *Ramdhia quelen* estão na faixa de 16 a 30ng/mL (Barcellos *et al*., 2001), enquanto para juvenis de surubim, essas concentrações variam de 3,5 a 12ng/mL. O bagre americano *Ictalurus punctatus*, por sua vez, apresenta concentrações basais variando de 5 a 51ng/mL e picos de cortisol que chegam a mais de 300ng/mL (Barton e Iwama, 1991).

Fatores físicos como temperatura da água podem influenciar o perfil da resposta ao estresse. O pico de cortisol em surubim criado em 30^{o}C pode atingir a magnitude de 300ng/mL, enquanto, para surubins a 27 e a 24^{o}C, o pico de cortisol situa-se entre 120 e 150ng/mL (Lima *et al*., 2006). Altas concentrações de cortisol também podem ser observadas normalmente no estágio final de maturação gonadal. Em salmonídeos migradores, picos de cortisol consideravelmente aumentados estão relacionados com a "esmoltificação", que é o processo de adaptação para a migração desses peixes da água doce para a água salgada (Wendeelar-Bonga, 1997). Assim, nem todas as elevações de cortisol podem ser atribuídas a ameaças no sentido negativo. De modo contrário, a ausência de doses claramente elevadas pode não estar relacionada à ausência de estressores. Em salmonídeos, por exemplo, doses pequenas mas cronicamente elevadas de cortisol têm tido implicações na depressão do sistema imunológico e na resistência a doenças (Pickering e Pottinger, 1989; Maule *et al*., 1993). Esse tipo de nível discreto do cortisol plasmático no estresse crônico é freqüentemente difícil de ser diferenciado de níveis de repouso (Weendelar-Bonga, 1997).

Resposta ao estresse e selecao animal

Acredita-se que o grau de resposta fisiológica do cortisol possua um componente genético (Fevolden *et al*., 2002). Assim, observou-se que pássaros geneticamente selecionados para uma resposta mais atenuada frente ao estresse cresceram mais rápido do que pássaros não selecionados (Jones *et al*., 1994, citados por Weil *et al*., 2001). Considera-se que, de um modo similar, esse tipo de seleção poderia ser usado para peixes como forma de incrementar o desempenho (crescimento, resistência a doenças e reprodução) dos animais criados em aquacultura intensiva (Pottinger *et al*., 1992). Machos de bass listrado selecionados para alta resposta tiveram a produção de andrógenos aumentada e maior período de espermiação comparados com peixes de baixa resposta. Entretanto, não tendo havido diferenças significativas das concentrações de cortisol em peixes nos diversos tratamentos, é possível que os aumentos na produção de andrógeno e espermiação tenham advindo da presença de co-fatores junto à resposta do cortisol (Woods III *et al*., 2004).

Trabalhos mostram que a magnitude do nível de corticosteróides em resposta ao estresse pode ser muito variável entre peixes, mesmo dentro da mesma espécie. Assim, em uma dada população, tanto pode haver peixes que respondem com um nível consideravelmente alto de cortisol, como peixes que respondem mais discretamente, ambos apresentando desempenho similar (Pottinger *et al*., 1992, Weil *et al*., 2001). Os resultados de estudos sobre a herdabilidade de concentrações de cortisol circulante em peixes são divergentes; Alguns estudos indicam que concentrações plasmáticas pós-estresse possuem baixa herdabilidade, enquanto trabalhos mais recentes apontam que essa característica apresenta moderada a alta herdabilidade (Pottinger e Carrick, 1999, Castranova *et al*., 2005).

Os resultados de estudos correlacionando resposta ao estresse com características específicas de desempenho de peixes em sistema intensivo de produção são um tanto variados. Por exemplo, não se registraram diferenças de crescimento e desempenho reprodutivo entre trutas arco-íris selecionadas para alto ou baixo pico de cortisol pós-estresse (Pottinger *et al*., 1992). Também não foram encontradas diferenças entre o crescimento de progênies de peixes com alta (elevados picos de cortisol) ou baixa resposta (picos discretos), mesmo que as progênies apresentassem resposta ao estresse similar à dos pais (Pottinger *et al*., 1994). Por outro lado, Pottinger e Carrick (1999) reportaram que trutas exibindo alto pico de cortisol pós-estresse eram maiores do que aquelas

que apresentaram baixo nível de cortisol. Em estudos caracterizando resistência a doenças, trutas arco-íris selecionadas como de alta resposta pós-estresse apresentaram maiores taxas de mortalidade quando expostas à infecção por bactérias do gênero *Aeromonas* do que peixes selecionados como de resposta discreta. Resultados inversos foram obtidos para esses mesmos grupos quando expostos ao gênero *Vibrio.*

Em investigações com peixe, praticamente só concentrações-pico de cortisol pós-estresse têm sido avaliadas para herdabilidade e características de desempenho. Para mamíferos, no entanto, há evidências de que a duração da presença do corticosteróide em resposta ao estresse pode ser um melhor indicador do desempenho do que a magnitude da resposta propriamente (Weil *et al*., 2001). Desse Lmodo, pesquisas adicionais com peixes deverão ser conduzidas para elucidar questões que atualmente se encontram indefinidas. Não obstante, a resposta ao estresse pode representar uma ferramenta de grande importância à seleção dos melhores indivíduos para a aquacultura, sobretudo aqueles criados em sistemas intensivos de produção comercial, os quais são hoje largamente conduzidos no mundo e começam a ser rotineiramente adotados também no Brasil.

Conclusão

Sistemas intensivos são uma alternativa para o incremento da produção aqüícola (Lawson, 1995; Procarione *et al*., 1999). O maior rendimento de peixes por área, a severidade na seleção de animais, o controle de alimentação e a vigilância sanitária constante são características desse sistema. A elevação das densidades de animais e a imposição das atividades rotineiras que tais sistemas exigem, no entanto, ocasionam estresse e, conseqüentemente, risco ao desempenho dos peixes. Em aquacultura, o sucesso reprodutivo de espécies economicamente importantes é decisivo para os demais setores da cadeia produtiva. Considerando-se que a fisiologia da maturação e desova esteja estreitamente associada com a fisiologia do estresse em peixes, estressores são uma ameaça à qualidade de gametas e de progênie (Schreck *et al*., 2001). O entendimento básico da fisiologia da resposta ao estresse e das alterações ambientais a que o peixe pode se adaptar por meio dessa resposta possibilita a identificação de condições de estresse e favorece o desenvolvimento de métodos que mitiguem os seus efeitos adversos na saúde de peixes cultivados.

Referências

Adams S. Status and use of biological indicators for evaluating the effects of stress on fish. *In*: Adams SM. (Ed.). *Biological indicators of stress in fish*. Bethesda, MD: American Fisheries Society, 1990. p.1-8. (American Fisheries Symposium, 8).

Barcellos LJG, Woehl VM, Warssemann GF, Quevedo RM, Ittzes I, KriegerMH. Plasma levels of cortisol and glucose in response to capture and tank transference in *Rhamdia quelen* (Quoi & Gaimard), a South American Catfish. *Aquacult Res*, v.32, p.121-123, 2001.

Barton BA. Endocrine and metabolic responses of fish to stress. *Int Assoc Aquat Anim Med Proc*, v.19, p.41-55, 1988.

Barton BA. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integ Comp Biol*, v.42, p.517-525, 2002.

Barton BA, Iwama GK. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the responses and effects of corticosteroids. *Ann Rev Fish Dis*, v.1, p.3-26, 1991.

Barry TP, Lapp AF, Kayes TB, Malison JA. Validation of a microtitre plate ELISA for measuring cortisol in fish and comparison of stress responses of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and lake trout (Salvelinus namaycush). *Aquaculture*, v.117, p.351-366, 1993.

Barry T, Ochiai M, Malison J. *In vitro* effects of ACTH on interregnal corticosteroidogenesis during early larval development in rainbow trout. *Gen Comp Endocrinol*, v.99, p.328-387, 1995.

Brown J. Endocrine responses to environmental pollutants. *In*: Rankin J, Jensen F (Ed.). *Fish ecophysiology*. London: Chapman & Hall, 1993. p.276-296.

Campbel PM, Pottinger TG, Sumpter JP. Preliminary evidence that chronic confinement stress reduced the quality of gametes produced by brown and rainbow trout. *Aquaculture*, v.120, p.151-169, 1994.

Campbel PM, Pottinger TG, Sumpter JP. Stress reduces the quality of gametes produced by rainbow trout. *Biol Reprod*, v.47, p.1140-1150, 1992.

Carmichael GJ. Long distance truck transport of intensively reared largemouth bass. *Prog Fish Cult*, v.46, p.11-115, 1984.

Carragher JF, Sumpter JP, Pottinger, TG, Pickering AD. The deleterious effects of cortisol implantation on reproductive function in two species of trout. *Salmo trutta* L. and Salmo gairdneri Richardson. *Gen Comp Endocrinol*, v.76, p.310-321, 1989.

Castranova DW, **King V**, **Woods III LC**. The effects of stress on androgen production, spermiation response and sperm quality in high and low cortisol responsive domesticated male striped bass. *Aquaculture*, v.246, p.413-422, 2005.

Davis KB, Grifin BR, Gray W. Effect of dietary cortisol on resistance to infection by *Icthyopthirius* and mortality due to channel catfish virus. *Aquaculture*, v.115, p.133-143. 2003.

Donaldson E. The pituitary-interrenal axis as an indicador of stress in fish. *In*: Pickering AD (Ed.) *Stress and fish.* London: Academic Press, 1981. p.11-47.

Fevolden S, Roed K, Fjalestad, K. Selection response of cortisol and lysozyme in rainbow trout and correlation with growth. *Aquaculture*, v.202, p.61-75, 2002.
Head A, Malison J. Effects of lighting spectrum and disturbance level on the growth and stress responses of yellow perch *Perca flavescens. J World Aquacult Soc*, v.31, p.73-80, 2000.
Kebus MJ, Collins MT, Brownfield MS, Kayes TB, Malison JA. Effects of rearing density on the stress response and growth of raibow trout. *J Aquatic Anim Hlth*, v.4, p.1-6, 1992.
Lawson TB. *Fundamentals of aquacultural engineering.* New York: Chapman & Hall, 1995. 355p.
Lima LC, Ribeiro LP, Malison JA, Barry TP, Held JA. Effects of temperature on performance characteristics and the cortisol stress response of surubim *Pseudoplatystoma* sp. *J World Aquacult Soc*, v.37, p. 89-95, 2006.
Maule A, Schereck C, Sharpe C. Seasonal changes in cortisol sensitivity and glucocorticoid receptor affinity and number in leukocytes of coho salmon. *Fish Physiol Biochem*, v.10, p.497-506, 1993.
Mommsen TP, Vijayan MM, Moon TW. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Rev Fish Biol Fisheries*, v.9, p. 211-268, 1999.
Pankhursks N, Kraak G. Effects of stress on reproduction and growth of fish. *In*: Iwama G, Pickering A, Sumpter C, Schreck C (Ed.). *Fish stress and health in aquaculture*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 278p. (Society for Experimental Biology Seminar Series; 62).
Pankhurst NW, Van Der Kraak G. Evidence that acute stress inhibits ovarian steroidogenesis in rainbow trout in vivo, through the actions of cortisol. *Gen Comp Endocrinol*, v.117, p.225-237. 2000.
Pickering AD (Ed.). *Stress and fish*. London: Academic Press, 1981.
Pickering A.D, Pottinger TG. Biochemical effects of stress. *In*: Hochachka PW, Mommsen TP. *Environmental and ecological biochmistry*. Amsterdam: Elsevier, 1995. p.349-379.
Pickering AD, Pottinger TG. Poor water quality suppresses the cortisol response in salmonid fish to handling and confinement. *J Fish Physiol*, v.30, p.363-374, 1987.
Pickering AD, Pottinger TG. Stress response and disease resistance in salmonid fish: effects of chronic elevations of plasma cortisol. *Fish Physiol Biochem*, v.7, p.253-258, 1989.
Pottinger TG, Carrick T. A comparison of plasma glucose and plasma cortisol as selection markers for high and low stress-responsiveness in female rainbow trout*. Aquaculture*, v.175, p351-363, 1999.
Pottinger TG, Moran T, Morgan J. Primary and secondary indices of stress in the progeny of rainbow trout (*Onchorrynchus mykiss*) selected for high and low responsiveness to stress. *J Fish Biol*, v.44, p.149-163, 1994.
Pottinger TG, Prunet P, Pickering AD. The effects of confinement stress on circulating prolactin levels in rainbow trout (*Onchorrynchus mykiss*) in fresh water. *Gen Comp Endocrinol*, v.88, p.454-460, 1992.
Procarione L, Barry TP, Malison JA. Effects of high rearing densities and loading rates on the growth and stress responses of juvenile rainbow trout. *North Am J Aquacult*, v.61, p.91-96, 1999.
Schreck CB. Physiological, behavioural, and performance indicators of stress. *Am Fish Soc Symp*, v.8, p.29-37, 1990.
Schreck CB. Stress and compensation in teleostean fishes: response to social and physical factors. *In*: Pickering AD. (Ed.). *Stress and fish*. London: Academic, 1981. p.295-321.
Schreck CB, Contreras-Sanchez W, Fitzpatrick MS. Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. *Aquaculture*, v.197, p.3-24, 2001.
Small BC. Effect of dietary cortisol administration on growth and reproductive success of channel catfish. *J Fish Biol*, v.64, p.589-596, 2004.
Van Der Boon J, Van den Thillart G, Addink A. The effects of cortisol administration on intermediary metabolism in teleost fish. *Comp Biochem Physiol A Comp Physiol*, v.100, p.47-53, 1991.
Wendeelar Bonga SE. The stress response in fish. *Physiol Rev*, v.77, p.591-625, 1997.
Wedemeyer GA. *Physiology of fish in intensive culture systems*. New York: Chapman & Hall, 1996.
Wedemeyer GA, Barton B, Mc Leay D. Stress and acclimation. *In*: Schereck C, Moyle P. (Ed.). *Methods for fish biology.* Bethesda, MD: American Fisheries Society, 1990. p. 451-489.
Weil L, Barry T, Malison J. Fast growth in rainbow trout is correlated with a rapid decrease in post-stress cortisol concentrations. *Aquaculture*, v.193, p.373-380, 2001.
Woods III LC, Castranova DA, King VW. The effect of stress on reproductive function in domesticated male striped bass. Disponível em www-heb. pac.dfo-mpo.gc.ca/congress/2004/stress/stress.htm.

Agradecimentos
Apoio financeiro da SEAP/PR.