

EFEITO DA ALTERAÇÃO NA LEGISLAÇÃO SOBRE O PARÂMETRO DA CAPTURA DO PINTADO

Tamara Aparecida Nogueira dos Anjos^{1,2}, Érica Fernanda da Cruz¹,
Thelma Sáfiadi¹, Solange Gomes Faria Martins¹

Resumo: *Dentre os peixes que vêm sofrendo o efeito da pesca seletiva, destaca-se o pintado *Pseudoplatystoma corruscans* que é um dos principais alvos nas capturas de peixes de água doce da América do Sul. A captura, peso total de peixes capturados, é uma informação quantitativa relevante para os pescadores. Neste trabalho, procura-se analisar o efeito das mudanças ocorridas na legislação da pesca na bacia do rio Paraguai (Mato Grosso) sobre o parâmetro da captura, para isto, simulou-se a dinâmica populacional da espécie pintado. A evolução temporal da captura, obtida via simulação computacional, apresenta a componente tendência devido à mudança de nível e inclinação e a intervenção afetou a série de maneira abrupta e permanente.*

Palavras-chave: *Pintado, captura, intervenção.*

Abstract: *The catch, total weight of fish caught, is a relevant quantitative information for fisheries. In this work, we seek to analyze the effect of changes in fishing legislation in Paraguay River Basin (Mato Grosso) on the parameter of the catch, for this was simulated population dynamics of the species pintado.*

Keywords: *Pintado, catch, intervention.*

1 Introdução

Dentre os peixes que vêm sofrendo o efeito da pesca seletiva, destaca-se o pintado *Pseudoplatystoma corruscans*, um dos principais alvos nas capturas de peixes de água doce da América do Sul (MATEUS; PENHA, 2007). Essa situação deve ocorrer, principalmente, devido à alta qualidade de sua carne, ao alto valor de comercialização e à sua marcante participação na pesca comercial.

No período de 1996 a 2013, a regulamentação da pesca na bacia do rio Paraguai (Mato Grosso) passou por seis mudanças. A Resolução nº 009/1996- CONSEMA, vigente até 2000, determinou o comprimento de 80 cm como o tamanho mínimo de captura da espécie pintado (MATO GROSSO, 1996). Em seguida, a Resolução nº 001/2000-CONSEMA, vigente até 2009, aumentou o tamanho mínimo de captura para 85 cm e a Lei nº 9096/2009, vigente até 2012, manteve este comprimento como o tamanho mínimo de captura (MATO GROSSO, 2000, 2009). Já a Lei nº 9794/2012, além de alterar o tamanho mínimo de captura para 90 cm, estipulou também um tamanho máximo de captura de 102 cm (MATO GROSSO, 2012). No ano de 2013,

¹DEX - UFLA. e-mail: ta.mara15@hotmail.com

²Agradecimento à CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

a legislação passou por duas alterações. A Lei nº 9893/2013 manteve o tamanho mínimo de captura de 90 cm e aumentou o tamanho máximo para 115 cm. Esta lei foi criada no dia 1º de março e, em 7 de março, foi modificada pela Lei nº 9895/2013 que definiu somente o tamanho mínimo de captura de 85 cm (MATO GROSSO, 2013a, 2013b).

A captura, peso total de peixes capturados, é uma informação quantitativa relevante para os pescadores. Neste trabalho avaliou-se somente o impacto da alteração na legislação de pesca, com a Resolução nº 001/2000 - CONSEMA, sobre o parâmetro da captura, utilizando o modelo baseado no indivíduo proposto por Santos, Martins e Pompeu (2012). Esse modelo é uma adaptação do modelo Penna (PENNA, 1995), baseado na biologia do *P. corruscans*, que leva em conta os efeitos evolutivos da pesca seletiva sobre população explorada. Neste trabalho a evolução temporal da captura foi analisada utilizando técnicas de séries temporais.

2 Material e métodos

2.1 Dados experimentais

Mateus e Penha (2007) estimaram os parâmetros de crescimento L_∞ ; o comprimento assintótico, k ; a taxa de crescimento, j_0 ; a idade teórica em que o comprimento do indivíduo é zero, L_m ; o comprimento médio de primeira maturação e I_m , a idade média da primeira maturação. Esses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Estimativas dos parâmetros populacionais para o estoque de pintado (MATEUS; PENHA, 2007).

L_∞ (cm)	k (ano ⁻¹)	j_0 (ano)	L_m (cm)	I_m (ano)
149,7	0,127	-0,871	75,0	4,6

Sato et al. (1997) verificaram a relação linear entre a fertilidade e o peso corporal de pintado, expressa por

$$b(P) = -890137 + 191079P, \quad (1)$$

sendo P o peso do indivíduo em kg.

Segundo Godinho et al. (1997), a relação entre peso e comprimento do pintado é dada por

$$P(L) = 1,734 \times 10^{-6} L^{3,335}, \quad (2)$$

sendo $P(L)$ o peso em kg e L o comprimento do indivíduo em cm.

2.2 Modelo Penna aplicado à biologia do *P. corruscans*

A seguir serão apresentadas as adaptações feitas por Santos, Martins e Pompeu (2012) ao modelo Penna (Penna, 1995) baseadas na biologia e nas características de pesca do pintado, com o objetivo de estudar os efeitos da pesca seletiva sobre as características de crescimento desta espécie.

Cada indivíduo da população é representado por duas palavras computacionais de 64 bits, uma denominada "genótipo" e a outra denominada "fenótipo". O "genótipo" é responsável pelas características de envelhecimento do indivíduo e, portanto, relacionado à idade. É assumido que cada bit no genótipo corresponde a uma idade do indivíduo em anos. Dessa maneira, se, na idade i , o i -ésimo bit do genótipo for setado em 1, o indivíduo sofrerá o efeito da mutação deletéria naquela e nas demais idades de sua vida. O indivíduo certamente morrerá quando o número de mutações deletérias na idade atual for igual ao limiar T , que é um parâmetro desse modelo.

O comprimento de cada indivíduo em cada idade é obtido por meio da equação de Von Bertalanffy (BERTALANFFY, 1938),

$$L(j) = L_\infty [1 - e^{-k_i(j-j_0)}], \quad (3)$$

sendo $L(j)$ o comprimento do indivíduo, L_∞ o comprimento assintótico, j_0 a idade teórica em que o comprimento é zero, j a idade atual do indivíduo e k_i a taxa de crescimento característica do indivíduo. Essa taxa de crescimento é definida pelo "fenótipo" de cada indivíduo como $k_i = \frac{\alpha \times s}{64}$, sendo s a soma de bit setados em 1 no "fenótipo" e α um parâmetro que determina o valor máximo que a taxa de crescimento k_i pode alcançar.

No modelo Penna, quando o indivíduo atinge uma idade R , certamente, ele se torna maturo. Aqui, o indivíduo matura em um dado tamanho, com uma probabilidade de maturação $m_i(L)$. Essa probabilidade é dada por

$$m_i(L) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_m(L-L_{im})}}, \quad (4)$$

sendo β_m o coeficiente de inclinação da curva de maturidade e L_{im} o tamanho em que o indivíduo tem 50% de probabilidade de tornar-se maturo. O comprimento L_{im} é proporcional à taxa de crescimento k_i e ao comprimento assintótico L_∞ (HE; STEWART, 2001), ou seja, $L_{im} = \frac{1}{\alpha} \times k_i \times L_\infty$.

Quando o indivíduo se tornar maturo, ele irá gerar b filhos a cada reprodução. A equação (1) apresenta uma relação linear entre a fertilidade e o peso corporal do pintado. Baseado nesta relação linear, Santos, Martins e Pompeu (2012) consideraram que a fertilidade depende do peso, de acordo com a seguinte equação:

$$b(P) = 1,0 + 2,0(P - P_{mat}), \quad (5)$$

sendo $P_{mat} = 1.734 \times 10^{-6} L_{mat}^{3,335}$ e L_{mat} o tamanho em que o indivíduo tornou-se maturo.

Neste trabalho, considera-se que a fertilidade depende do peso, de acordo com a seguinte equação:

$$b(P) = 2 \times P, \quad (6)$$

sendo P o peso do indivíduo em kg dado pela equação (2). Note que, no momento em que o indivíduo maturar, a equação (5) fornecerá um número de filhos igual a 1, independente da idade em que o indivíduo maturou, pois, neste caso, $P = P_{mat}$, diferente da equação (6), em que o número de filhos irá variar de acordo com a idade em que o indivíduo maturou.

Para cada filho, no momento do nascimento, são feitas cópias do genótipo e do fenótipo da mãe. Então, no genótipo, são escolhidos M bits, nos quais é feita a seguinte alteração: se o bit da mãe for setado em 0, o bit do filho passa a ser 1 ou se o bit da mãe for setado em 1 o do filho permanecerá 1, ou seja, na melhor das hipóteses, o genótipo do filho será igual ao da mãe. Já no fenótipo, os M bits sorteados são invertidos em relação aos bits correspondentes no fenótipo da mãe, com uma probabilidade de ocorrência de mutação de 0,5.

Além da morte por envelhecimento, o indivíduo poderá morrer com probabilidade $\frac{N(t)}{N_{max}}$ (fator de Verhuslt), devido às restrições ambientais, sendo $N(t)$ o número de indivíduos em determinada etapa temporal e N_{max} , a capacidade de carga do ambiente. O indivíduo poderá morrer também devido à pesca seletiva.

A pesca seletiva é implementada da seguinte maneira: há uma probabilidade E de o indivíduo ser encontrado e, se ele for encontrado, ele será capturado com uma probabilidade determinada por $S(L) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_s(L-LC)}}$. Essa curva é denominada como curva de seletividade logística, sendo LC o tamanho mínimo de captura definido pela legislação local e β_s é o coeficiente da curva de seletividade.

No final de cada etapa temporal, se o indivíduo não morrer, ele terá sua idade acrescida de um ano, e seu peso e tamanho serão atualizados de acordo com as equações (2) e (3), respectivamente.

2.3 Efeito da alteração na legislação sobre o parâmetro da captura do pintado

Neste trabalho, o modelo proposto por Santos, Martins e Pompeu (2012), apresentado na seção anterior, foi implementado com o desenvolvimento de um programa em linguagem C.

Para fazer o estudo do impacto sobre a captura do pintado, devido a mudanças na legislação que regulamenta a pesca, foi simulado um cenário de pesca considerando duas diferentes estratégias. As diferentes estratégias de pesca foram as seguintes:

1. **Estratégia de pesca (1)**- curva de seletividade logística $S_1(L)$

$$S_1(L) = \frac{1}{1 + e^{-0.5(L-80)}} \quad (7)$$

baseada na Resolução nº 009/1996–CONSEMA, em que o tamanho mínimo de captura é de 80 *cm* (MATO GROSSO, 1996);

2. **Estratégia de pesca (2)**- curva de seletividade logística $S_2(L)$

$$S_2(L) = \frac{1}{1 + e^{-0.5(L-85)}} \quad (8)$$

baseada na Resolução nº 001/2000-CONSEMA e Lei nº 9096/2009, que define o tamanho mínimo de captura como 85 *cm* (MATO GROSSO, 2000, 2009).

A simulação foi composta de 100.270 etapas temporais. A população inicial corresponde à população em $t' = 99.951$ (tempo suficiente para que a população atinja uma estrutura etária estável), obtida considerando pesca seletiva a partir de $t' = 1$ e curva de seletividade logística baseada na Resolução nº 009/1996–CONSEMA. Em $t' = 1$, a população inicial foi composta de 10.000 indivíduos. Cabe ressaltar que não foram levadas em consideração alterações na legislação de pesca anteriores à Resolução nº 009/1996– CONSEMA. A etapa temporal $t' = 99.951$ corresponde à primeira etapa temporal ($t = 1$) e $t' = 100.001$ corresponde ao ano de 1996 ($t = 51$).

O cenário, baseou-se na aplicação da curva de seletividade logística $S_1(L)$ até $t = 54$, sendo que $t = 51$ a $t = 54$ corresponde ao período em que a pesca foi regulamentada pela Resolução nº 009/1996–CONSEMA, a qual define o tamanho mínimo de captura de 80 *cm* (MATO GROSSO, 1996). Anterior à vigência desta Resolução, considerou-se que havia, 50% de chance, de o indivíduo ser capturado ter 80 *cm*, dada a falta da regulamentação de pesca anterior a 1996. A seguir, a curva de seletividade S_2 foi aplicada a partir de $t = 55$, devido à alteração no tamanho mínimo de captura para 85 *cm*, definido pela Resolução 001/2000–CONSEMA e pela Lei nº 9096/2009 (MATO GROSSO, 2000, 2009).

Uma informação quantitativa relevante para os pescadores é a captura em peso, ou seja, o peso total de peixes capturados. Assim, a captura em peso anual foi calculada pela expressão:

$$C(t) = \sum_{j=1}^{j=N_c(t)} P_{jc},$$

em que $N_c(t)$ é o tamanho da população de pescado na etapa temporal t e P_{jc} é o peso do indivíduo capturado j .

Os parâmetros L_∞ e j_0 assumiram os valores apresentados na Tabela 1 e os demais parâmetros assumiram os seguintes valores:

1. $T = 1$ (limite de mutações deletérias);
2. $N_{max} = 100.000$ (capacidade de carga do ambiente);
3. $M = 1$ (número de mutações);
4. $\alpha = 0,25$ ano (constante de proporcionalidade);
5. $\beta_m = 0,5$ (coeficiente de inclinação da maturidade);
6. $E = 0,3$ (probabilidade de encontrar o indivíduo).

2.4 Séries temporais

A estratégia utilizada para a análise das séries temporais se resume em algumas etapas. A primeira delas é a construção do gráfico da série original para uma inspeção visual quanto à presença de tendência e/ou sazonalidade e efeito das intervenções.

A análise da função de autocorrelação (fac) e aplicação do teste de tendência (Teste do Sinal) e o teste de sazonalidade (Teste de Fisher), confirma a presença dessas componentes. O teste do Sinal e o teste de Fisher podem ser encontrados em Morettin e Toloí (2006).

Em seguida toma-se o número de diferenças necessárias para que a série se torne estacionária e analisa-se a função de autocorrelação (fac) e a função de autocorrelação parcial (facp) da série estacionária e leva-se em consideração as intervenções para escolha do modelo.

Chama-se de intervenção, um evento que ocorre independente do fenômeno que originou a série temporal e cujos efeitos são significativos sobre a mesma e portanto deve ser introduzido ao modelo. Uma intervenção pode afetar uma série temporal de várias formas, sendo que, na sua manifestação, ela pode ser abrupta ou gradual, na sua duração, permanente ou temporária.

Ajustado o modelo, analisa-se fac e facp dos resíduos do modelo ajustado, para verificar se o resíduo é um ruído branco e confirma a hipótese pelo teste de Box e Pierce e, por fim, escreve-se o modelo matemático com os parâmetros ajustados.

3 Resultados e discussão

Na Figura 1 apresenta-se a evolução temporal da captura, obtida com a simulação no período de $t = 1$ a $t = 320$. Sendo que, $t = 55$ corresponde ao ano de 2000, ano em que ocorreu a alteração na legislação (001/2000— CONSEMA), que aumentou o tamanho mínimo de captura de 80 para 85 *cm* (MATO GROSSO, 2000). A linha tracejada na Figura 1 mostra exatamente este momento.

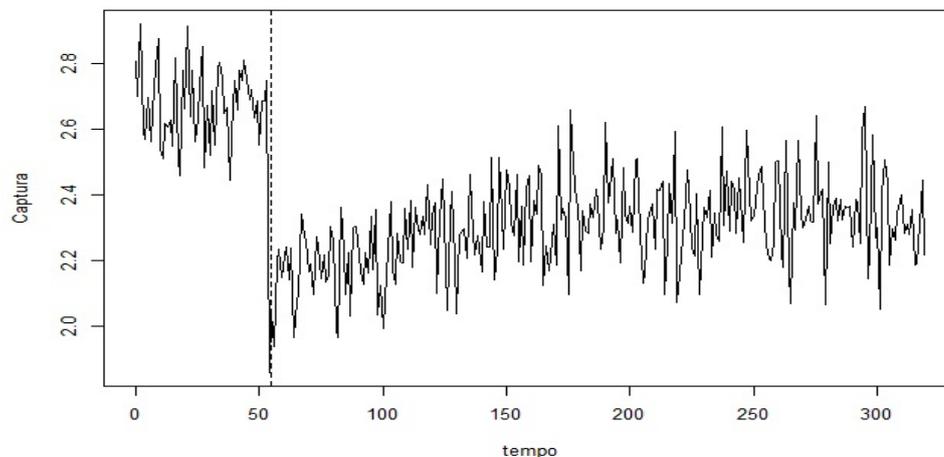


Figura 1: Evolução temporal da captura

Nota-se pela fac e facp da série original (Figura 2 (a)) que a série não é estacionária. A presença da componente tendência foi verificada pelo teste do sinal e deve ser explicada pela mudança de nível e inclinação.

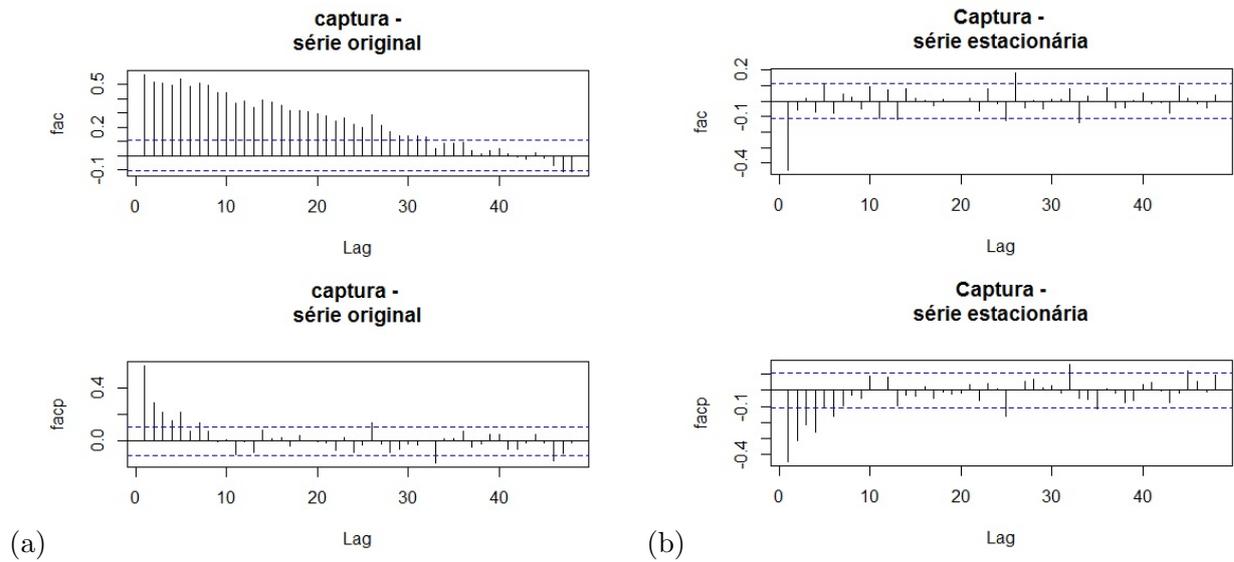


Figura 2: (a) Correlograma da série da captura. (b) Correlograma da série estacionária da captura.

Na Figura 2 (b) são apresentadas a fac e a $facp$ da série estacionária, as quais auxiliam na escolha do modelo. Para propôr o modelo, também foi levada em consideração a intervenção ocorrida em $t = 55$.

O modelo sugerido foi ARIMA(0,1,1) com intervenção

$$Z_t = \omega_1 X_{1,t} + \frac{(1 - \theta_1 B)a_t}{1 - B},$$

em que a variável binária é

$$X_{1,t} = \begin{cases} 0, & \text{se } t < 55 \\ 1, & \text{se } t \geq 55. \end{cases}$$

As estimativas dos parâmetros do modelo sugerido são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Estimativas dos parâmetros do modelo sugerido para a série da captura no cenário (2).

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro padrão
ARIMA (0,1,1)- CI	θ_1	-0,9429	0,0157
	ω_1	-0,5325	0,0449

Estimado o modelo, partiu-se para a verificação do resíduo da série ajustada, em que os erros precisam ser normais e independentes. Na figura 3 apresenta-se a fac dos resíduos do modelo estimado, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste Box-Pierce tem-se valor $p=0,2661$, o que confirma que o resíduo é ruído branco.

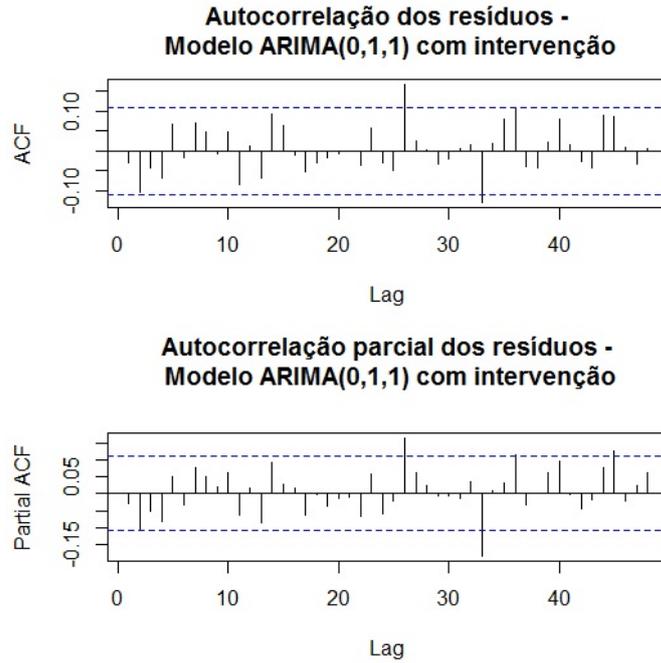


Figura 3: Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, do resíduo do modelo estimado ARIMA(0,1,1)- CI

Substituindo-se os valores das estimativas apresentados na Tabela 2, têm-se a seguinte equação para o modelo ARIMA(0,1,1)-CI:

$$Z_t = -0,5325X_{1,t} + \frac{(1 + 0,9429B)a_t}{(1 - B)}$$

Pode-se dizer, com base no modelo ajustado aos dados, que a alteração na legislação ocorrida no ano de 2000 ($t = 55$) causou um decréscimo de aproximadamente, 0,5325 toneladas, a partir da observação 55 (essa alteração na legislação aumentou o tamanho mínimo de captura de 80 *cm* para 85 *cm*).

4 Conclusões

A evolução temporal da captura apresenta a componente tendência devido à inclinação e mudança de nível e a intervenção afetou a série de forma abrupta e permanente.

Em um trabalho futuro, pretende-se avaliar o efeito das demais alterações ocorridas na legislação de pesca do pintado na captura. É também importante avaliar o impacto em outros parâmetros, como taxa de crescimento, comprimento de maturação, biomassa, etc.

O efeito da intervenção no parâmetro da captura ocorre de forma abrupta, ou seja, o pescador percebe imediatamente a consequência da alteração na legislação. É necessário investigar, também, o efeito das intervenções nos demais parâmetros, que talvez não aconteça de forma abrupta.

Referências

- [1] BERTALANFFY, L. V. A quantitative theory of organic growth. **Human Biology**, Detroit, v. 10, n. 2, p. 181-213, 1938.

- [2] GODINHO, H. P. et al. Pesca e biologia do surubim *Pseudoplatystoma corruscans* no rio São Francisco. In: MIRANDA, M. O. T. (Ed.). **Surubim**. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais, 1997. p. 27-42.
- [3] HE, J. X.; STEWART, J. D. Age and size at first reproduction of fishes: predictive models based only on growth trajectories. **Ecology**, Durham, v. 82, n. 3, p. 784-791, 2001.
- [4] MATEUS, L. A. F.; PENHA, J. M. F. Dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (Siluriformes, Pimelodidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 87-98, jan./fev. 2007.
- [5] MATO GROSSO. **Lei nº 9096**, de 16 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a Política da Pesca no Estado de Mato Grosso e dá outras providências. Cuiabá, 2009. Disponível em: <<http://monitoramento.sema.mt.gov.br/simlam/LEI%20N%C2%BA%209.096,%20de%2016%20de%20janeiro%20de%202009.doc>>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- [6] MATO GROSSO. **Lei nº 9794**, de 30 de julho de 2012. Altera dispositivos da Lei nº 9.096, de 16 de janeiro de 2009. Cuiabá, 2012. Disponível em: <<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=243758>>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- [7] MATO GROSSO. **Lei nº 9893**, de 1 de março de 2013. Modifica dispositivos da Lei nº 9.096, de 16 de janeiro de 2009, alterada pela Lei nº 9.794, de 30 de julho de 2012, e dá outras providências. Cuiabá, 2013a. Disponível em: <<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=251884>>. Acesso em: 10 jun. 2013.
- [8] MATO GROSSO. **Lei nº 9895**, de 7 de março de 2013. Modifica dispositivos da Lei nº 9.096, de 16 de janeiro de 2009. Cuiabá, 2013b. Disponível em: <<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=252093>>. Acesso em: 10 jun. 2013.
- [9] MATO GROSSO. **Resolução CONSEMA nº 001/2000**, de 16 de março de 2000. Cuiabá, 2000. Disponível em: <http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=2856&Itemid=403>. Acesso em: 10 jun. 2013. .
- [10] MATO GROSSO. **Resolução CONSEMA nº 009/1996**, 14 de maio de 1996. Estabelece corredor de vegetação área de trânsito a fauna. Cuiabá, 1996. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=208>>. Acesso em: 10 jun. 2013.
- [11] MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 2006. 538 p.
- [12] PENNA, T. J. P. A bit string model for biological aging. **Journal of Statistical Physics**, New York, v. 78, n. 5/6, p. 1629-1633, 1995.
- [13] SANTOS, R. V. R.; MARTINS, S. G. F.; POMPEU, P. S. An individual-based model for evolutionary effects of selective fishing applied to Pintado *Pseudoplatystoma corruscans*. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, London, v. 391, n. 21, p. 5112-5120, 2012.
- [14] SATO, Y. et al. Indução experimental da desova do surubim *Pseudoplatystoma corruscans*. In: MIRANDA, M. O. T. (Ed.). **Surubim**. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais, 1997. p. 69-79.